

الكوارث الطبيعية

المجلد الأول



المشروع القومي للتأريخ



تأليف : باتريك ل . أبوت

ترجمة : توفيق علي منصور

604

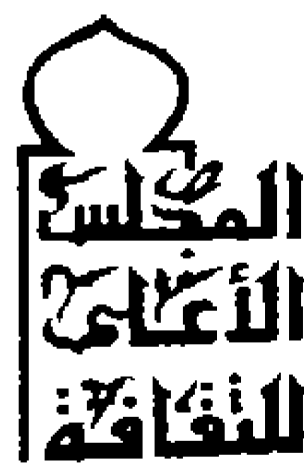
المشروع القومي للترجمة

الكوارث الطبيعية

(المجلد الأول)

تأليف : باتريك ل. أبوت

ترجمة : توفيق على منصور



٢٠٠٣

المشروع القومي للترجمة

إشراف : جابر عصفور

– العدد : ٦٠٤

– الكوارث الطبيعية (المجلد الأول)

– باتريك ل. أبوت

– توفيق على منصور

– الطبعة الأولى ٢٠٠٣

هذه ترجمة كتاب :

Natural Disasters

Third Edition

by

Patrick L. Abbott

McGraw-Hill Higher Education,

A Division of The McGraw-Hill Companies

© 2002 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

All Rights Reserved

Arabic edition, 2005 by The

Supreme Council of Culture

All Rights Reserved

حقوق الترجمة والنشر بالعربية محفوظة للمجلس الأعلى للثقافة

شارع الجبلية بالأوبرا – الجزيرة – القاهرة ت ٧٣٥٢٣٩٦ فاكس ٧٣٥٨٠٨٤

El Gabalaya St., Opera House, El Gezira, Cairo

Tel. : 7352396 Fax : 7358084

تهدف إصدارات المشروع القومي للترجمة إلى تقديم مختلف الاتجاهات والمذاهب الفكرية للقارئ العربي وتعريفه بها ، والأفكار التي تتضمنها هي اجتهادات أصحابها في ثقافتهم ولا تعبر بالضرورة عن رأى المجلس الأعلى للثقافة .

المحتويات

17	..... تصدير المترجم
21	..... المقدمة
29	..... الفصل الأول - مصادر الطاقة المسببة للكوارث
31	..... - أصل الشمس والكواكب
33	..... - المصادر الداخلية للطاقة
34	..... - طاقة الارتطام
34	..... - طاقة الجاذبية
35	..... - الطاقة المنبعثة من العناصر المشعة
36	..... - عمر الأرض
37	..... * حاشية جانبية: العناصر المشعة
38	..... - تقدير أوقات أحداث تاريخ الأرض
39	..... * حاشية جانبية: كوارث النشاط الإشعاعي
41	..... - المصادر الخارجية للطاقة
41	..... - الشمس
44	..... - الجاذبية
47	..... - الارتطام
47	..... * حاشية جانبية: الطاقة والقوة والشغل والقدرة والحرارة ..
50	..... * حاشية جانبية: الماء - أعجب المواد على سطح الأرض ..

51	- بورة الطاقة والمخاطر البشرية
52	- هلاك الإنسان
53	- خسائر التأمين
54	- نظرية الهيولية
	موجز - مصطلحات للمذاكرة - أسئلة للمراجعة - أسئلة
54	لمزيد من التأمل
59	● أشكال الفصل الأول
74	● جداول الفصل الأول
79	● مراجع الفصل الأول
81	الفصل الثاني - الألواح التكتونية والزلازل
81	- تاريخ الأرض
83	- الأرض ذات الطبقات
84	- توازن القشرة الأرضية
88	- الألواح (البانية) التكتونية
90	* حاشية جانبية: المجال المغنطيسي للأرض
91	- تطور فكرة الألواح التكتونية
93	- مغنطة الصخور البركانية
94	- نماذج للمغنطة في قيعان البحار
95	- أدلة أخرى على تكتونية الألواح :
95	- المراكز السطحية لبؤر الزلازل تحدد حواف الألواح ..
96	- سلاسل أعراف المحيطات والخنادق العميقة

96	- الزلازل العميقة
96	- تقدير الأعمار من أحواض المحيطات
98	- زيادات نمطية في أعماق قيعان البحار
98	- توافق القارات
99	- نظرية التوحيد الكبير
101	- الزلازل والألواح التكتونية
102	- ملف الصور: الأرض كوكب نشيط
103	- الزلازل ومراكز الانتشار :
104	- آيسلاند
104	- البحر الأحمر وخليج عدن
106	الزلازل ومناطق التلاقى :
106	- مناطق الانضواء (الغطس)
111	- مناطق تصادم قارة بقارة
113	- لوح شبه الجزيرة العربية
114	- الزلازل في مناطق التصادم
116	* حاشية جانبية: نظرة تاريخية
116	- زلازل الصدوع التحويلية
	موجز - مصطلحات للمذاكرة - أسئلة للمراجعة - أسئلة
119	لمزيد من التأمل
127	● أشكال الفصل الثاني
172	● جداول الفصل الثاني
173	● مراجع الفصل الثاني

175	الفصل الثالث - مبادئ أساسية فى جيولوجيا الزلازل وعلم الزلازل
176	- زلزال لشبونة فى ١٧٥٥
180	- ما الزلزال ؟
181	- الصدوع ورسم الخرائط الجيولوجية
182	- نماذج من الصدوع :
184	- صدوع الميل المنزقة
185	- صدوع المضرب المنزقة
186	- الدرجات فى صدوع المضرب المنزقة
187	- صدوع تحويلية
188	- تطور علم الزلازل
189	- الموجات الزلزالية: الموجات الداخلية
189	- الموجات الأولية
190	- الموجات الثانوية
191	- الموجات الزلزالية وباطن الأرض
191	- الموجات الزلزالية: الموجات السطحية
192	- موجات لاف
192	- موجات رايلي
193	- الموجات السنامية (التسونامى)
194	- الموجات السنامية مقابل الموجات التى تسببها الرياح
196	- دروس من الموجات السنامية :
196	- ألاسكا فى ١٧ مارس ١٩٤٦
197	- شيلى فى ٢٢ مايو ١٩٦٠

198	- ألاسكا فى ٢٧ مارس ١٩٦٤
199	- نيكارا جوا فى ١ سبتمبر ١٩٩٢
199	- بابوا بغينيا الجديدة فى ١٧ يوليو ١٩٩٧
200	- تحديد مصدر الزلازل
202	- تقدير قوة الزلزال
202	- مقياس ريختر
204	- مقاييس أخرى لحجم الزلازل
205	- مقياس عزم قوة الزلزال
206	- تحرك التربة أثناء الزلزال
206	- العجلة (التسارع)
207	- الفترة الزمنية للدورة والرنين
208	- شدة الزلزال - ما الذى نشعر به أثناء الزلزال ؟
209	- متغيرات مقياس ميركالى
211	* حاشية جانبية : تصميم المباني فى المناطق المعرضة للزلزال
213	- حالة تاريخية عن متغيرات ميركالى :
213	- زلزال وادى سان فيرناندو، بكاليفورنيا فى ١٩٧١
	موجز - مصطلحات للمذاكرة - أسئلة للمراجعة - أسئلة
216	لمزيد من التأمل
223	● أشكال الفصل الثالث
255	● جداول الفصل الثالث
260	● مراجع الفصل الثالث

261	الفصل الرابع - الزلازل فى غربى أمريكا الشمالية
263	- زلازل نطاق الانضواء :
263	- زلزال يوم الجمعة الطيبة فى آلاسكا فى ١٩٦٤
265	- مكسيكو سيتى فى عام ١٩٨٥
266	- الزلازل المرتقبة فى شمال غربى المحيط الهادى
268	- زلازل مركز الانتشار
270	- زلازل الصدع التحويلى فى كاليفورنيا:
270	- سان فرنسيسكو فى ١٩٠٦
272	- زلازل صدع سان أندرياس
	* حاشية جانبية : فكرة البناء التكتونى الجديدة
275	وعلم الزلازل القديمة
277	- زلزال الدورة الرياضية العالمية (لوما بريتا) فى ١٩٨٩
282	- زلازل منطقة الخليج - الماضى والمستقبل
	- كوبي فى اليابان فى عام ١٩٩٥ مقابل أوكلاند
283	فى كاليفورنيا المرتقب فى عام ٢٠٠٠
285	- كيف تعمل الصدوع؟
285	- النظرية القديمة
286	- الفكرة الأحدث
287	- لاندز فى كاليفورنيا فى ١٩٩٢
288	- صدع جنوبى سان أندرياس
289	* حاشية جانبية: التنبؤ بالزلازل القصيرة المدى
291	- زلازل صدع الدسر فى جنوبى كاليفورنيا:

292	- نورثريدج فى كاليفورنيا فى عام ١٩٩٤
293	- الزلزال الشديد
	موجز - مصطلحات للمذاكرة - أسئلة للمراجعة - أسئلة
294	لمزيد من التأمل
299	● أشكال الفصل الرابع
332	● جداول الفصل الرابع
333	● مراجع الفصل الرابع
335	الفصل الخامس - مزيد من زلازل الولايات المتحدة وكندا
336	غربى أمريكا الشمالية: الزلازل المتعلقة بالألواح التكتونية
	- الشمال الغربى المطل على المحيط الهادى: أوريجون
337	واشنطن وبريتيش كولومبيا
339	- غربى الحوض الكبير: شرقى كاليفورنيا وغربى نيفادا
341	- الحزام بين الجبال فى يوتاه وإيداهو ويومينج ومونتانا
	- أخدود ريوجراند فى نيو مكسيكو وكولورادو وأقصى
344	غربى تكساس ومكسيكو
345	- الزلازل داخل الألواح فى الوسط المستقر للولايات المتحدة
345	- نيومدريد فى ميسورى فى ١٨١١-١٨١٢
	- أخدود ريلفوت فى ميسورى وأركانساس وتينيسى
349	وكنتاكى وإيلينوى
350	- الأخاديد القديمة فى وسط الولايات المتحدة
351	- الزلازل داخل الألواح فى شرقى الولايات المتحدة

351	..... - زلازل نيو إنجلاند
352	..... - زلزال وادى نهر سانت لورانس
353	..... - نظرية الزلازل الكبرى فى نطاق الشقوق
354	..... - شارلستون فى جنوبى كارولاينا فى ١٨٨٦
355	..... - الزلازل وظاهرة البراكين فى هاواى
	موجز - مصطلحات للمذاكرة - أسئلة للمراجعة - أسئلة
356	..... لمزيد من التأمل
361	..... ● أشكال الفصل الخامس
386	..... ● جداول الفصل الخامس
388	..... ● مراجع الفصل الخامس
389	..... الفصل السادس - البراكين
390	..... - تشريح ثورة البركان
390	..... - كيف تتور الفوارة
392	..... - كيف يثور البركان
394	..... التركيب الكيميائى والمعدنى للصهارة
396	..... - المواد البركانية
398	..... - حرارة الصهارة ومحتواها من الغاز ولزوجتها
	* حاشية جانبية: البراكين وأصل المحيط والغلاف الجوى
399	..... والحياة
400	..... - الأشكال الأرضية للبراكين
400	..... - مخروط الرماد البركانى (من البازلتى حتى الأنديسيتى)

401	- البراكين المتطابقة (من الآنديسيتى حتى الريوليتى) ..
401	- البراكين الدرعية (بازلتية)
402	- نماذج للثورات البركانية
403	* حاشية جانبية: معدل الانفجارات البركانية
404	- نموذج بركان آيسلاند
405	- نموذج بركان هاواى
406	- نموذج بركان فيزوف
410	- الكالديرات المنهارة
410	- بحيرة كريتير (ماونت مازاما) فى أوريجون
411	- كراكاتاو فى إندونيسيا فى ١٨٨٣
412	- سانتورينى وقارة أطلنطيس المفقودة
	موجز - مصطلحات للمذاكرة - أسئلة للمراجعة - أسئلة
415	لمزيد من التأمل
419	● أشكال الفصل السادس
443	● جداول الفصل السادس
448	● مراجع الفصل السادس
449	الفصل السابع - ظاهرة البراكين والألواح التكتونية
449	- الألواح التكتونية وإثارة البراكين
451	- البراكين ومراكز الانتشار
451	- آيسلاند
453	- بحيرات كيلر فى الكامبيرون فى أفريقيا

456	- البراكين فى مناطق الانضواء
	- سلسلة جبال كاسكيد فى الشمال الغربى المطل على
456	المحيط الهادى
464	- الأحداث والقوى المهلكة فى براكين مناطق الانضواء
464	- تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية
468	- الحمم الطينية
470	- البقع الحارة
471	- البراكين فى البقع الحارة فى المحيطات
472	- البراكين فى البقع الحارة فى القارات
473	- المنتزه الوطنى فى يلوستون
475	- ثورات بركانية عملاقة داخل الألواح
475	- لونج فالى فى كاليفورنيا
476	- المراقبة والإنذار بالبراكين
	موجز - مصطلحات للمذاكرة - أسئلة للمراجعة - أسئلة
477	لمزيد من التأمل
481	● أشكال الفصل السابع
516	● مراجع الفصل السابع
517	الفصل الثامن - حركات الكتل
518	- دور الجاذبية
519	- الزحف
520	→ أسباب انهيار المنحدرات

520	- الأسباب الخارجية
521	- الأسباب الداخلية
526	- نقص التماسك
527	- التركيب الجيولوجى المعاكس
528	- محفزات لحركات الكتل
528	* حاشية جانبية: تحليل استقرار المنحدرات
529	- تصنيف حركات الكتل
530	- السقوط
531	- الانزلاق
531	- الانزلاقات الدورانية
532	- الانزلاقات التحويلية
536	- التدفقات
537	- تدفقات طفلية فى مقاطعة جانسو فى الصين
538	- تدفق ترابى فى بورتوجيز بيند فى كاليفورنيا
539	- تدفقات فتاتية بعيدة المدى
547	- جلاميد الجليد
549	- حركات الكتل تحت سطح البحر
551	- الخسف (الهبوط)
551	- الخسف البطيء
553	- الخسف الكارثى
554	* حاشية جانبية: كيف يتكون الكهف

	موجز - مصطلحات للمذاكرة - أسئلة للمراجعة - أسئلة
555	لمزيد من التأمل
561	● أشكال الفصل الثامن
597	● جداول الفصل الثامن
600	● مراجع الفصل الثامن

تصدير المترجم

مَنْ مَنَّا لم يصبه أذى من جرأ الظواهر الطبيعية؟ وتشمل الظواهر الطبيعية التي نألفها في عالمنا العربي: الزلازل والبراكين والفيضانات والسيول والرياح والتصحر والانهيّارات الأرضية والطقس القاسى والحرائق والكثافة السكانية وغيرها. ومعرفة طبيعة هذه الظواهر أولى الخطوات للوقاية من أثارها الضارة التي تهلك الحرث والنسل. ويندر أن يُلمَّ كتاب واحد ناطق بالعربية بمثل هذه الظواهر. على أن الإلمام بها لا يختص به الخبراء فى علوم الجغرافيا والجيولوجيا والبيئة والهندسة والأمن والصحة والشئون الاجتماعية فحسب، بل يهم كل إنسان يتعرض هو وممتلكاته لمخاطر هذه الظواهر الطبيعية.

تناولت العديد من الكتب والدوريات هذه الظواهر وأخطارها فرادى، أما جَمْعُ هذه الظواهر فى مجلد واحد فقد أقدم عليه الدكتور محمد صبرى محسوب والدكتور محمد إبراهيم أرباب فى كتابهما: **الأخطار والكوارث الطبيعية: الحدث والمواجهة - معالجة جغرافية**، (القاهرة: دار الفكر العربى، ٢٠٠٠). وفى معرض الكتاب المنعقد فى يناير/ فبراير ٢٠٠٢ لمحت كتاب الدكتور Patrick L.Abbott، بعنوان **Natural Disasters** فى طبعته الثانية الصادرة فى عام ١٩٩٩ عن دار ماك جروهيل، فحصلت عليه وعرضته على المشرف على المشروع القومى للترجمة الأمين العام للمجلس الأعلى للثقافة ألتمس الموافقة على تكليفى بترجمته، فوافق مشكوراً واتصل بالناشر يطلب الموافقة على ترجمته. ولكن الناشر أرجأ الموافقة حتى يصدر الطبعة الثالثة التى صدرت فى عام ٢٠٠٢. وما إن صدرت حتى أرسل إلى المجلس الأعلى للثقافة نسخة منها مشفوعة بالموافقة على الترجمة. وترجمة هذه النسخة هى الكتاب الذى بين أيدينا الآن.

ويتميز هذا الكتاب بالشرح الوافى لظواهر الطبيعة. ومصادر الطاقة التى تحدثها، والكوارث التى نجمت عنها، بأسلوب بسيط ودعم بالصور والأشكال والبيانات الإحصائية. فربَّ صورة تُغنى عن ألف كلمة. ورغم أن الكتاب يركز على وقائع حدثت

فى الولايات المتحدة، فهو يتناول الأحداث العالمية كذلك، بما فيها منطقة الشرق الأوسط التى نعيش فيها. وقد جمع المؤلف بين عمق الفكرة وشمولها بما يشبع نهم العلماء والباحثين؛ وخفة الظل وبساطة الطرح بما يجذب انتباه الطلاب والمتقنين.

فترجمة هذا الكتاب ليست بالأمر الهين رغم ما به من عناصر التشويق والإبداع. فالتمكن من ناحية اللغة المنقول منها واجب، والتمكن من ناحية اللغة المنقول إليها أوجب. أما التمكن من المادة العلمية فهو أكثر وجوباً.

استهل مؤلف هذا الكتاب كل فصل من فصوله بعبارة افتتاحية ماثورة لأحد مشاهير الكتاب أو الحكماء أو الفلاسفة؛ وسواء أكانت نثراً أم شعراً فقد قمتُ بترجمتها جميعاً إلى الشعر الموزون فى كثير من الأحيان والمقفى فى بعض الأحيان؛ فأرجو أن أكون موفقاً فى ذلك.

ولست هذه التجربة أولى المحاولات فى الترجمة الشعرية والترجمة العلمية، فقد سبقتها تجارب أخرى أصدرها المشروع القومى للترجمة فى الجزء الأول والجزء الثانى من كتابى: **مختارات شعرية مترجمة** شعراً بشعر. وترجمة الشعر أشد التزاماً من ترجمة النثر الذى ينطق به هذا الكتاب: **الكوارث الطبيعية**. فالتمكن من ناصيتى اللغتين الإنجليزية والعربية ثابت والحمد لله.

أما التمكن من المادة العلمية فقد حشدت له جل طاقتى؛ فالخلفية الجغرافية والطبوغرافية والعلمية والجيولوجية متوافرة لدى بالقدر الكافى لترجمة هذا الكتاب الشامل لشتى بحور المعرفة. فقراءة الخرائط والصور الجوية صدر لى فيها كتاب: **قراءة الخرائط (الطبوغرافيا)** (الرياض: مطابع الأمن العام، ١٩٩٤). والجغرافيا والجيولوجيا ترجمت فيها كتاباً بعنوان: **نهر النيل: مشاركة فى مورد نادر** وهو تحت الطبع فى مشروع الألف كتاب الثانى فى الهيئة المصرية العامة للكتاب. والبيئة والتنمية البشرية ترجمت فيها كتاباً بعنوان: **أرضنا الغاضبة**؛ أصدرت مجلة **الفصل السعودية** ملخصاً له. والزلازل والبراكين وغيرهما، جمعتُ لها كثيراً من المراجع والمعاجم، منها:

د. محمد صبرى محسوب وآخر، **الأخطار والكوارث الطبيعية**

د. محمود أحمد عويضة، **تأملات فى الكون**

د. مصطفى محمود سليمان، الزلازل

د. زكريا هميمى، الزلازل

د. محمود توفيق سالم، أساسيات الجيولوجيا الهندسية

د. عبدالعزيز طريح شرف (مترجم)، الجغرافيا فى مائة عام

د. مختار رسمى ناشد (مترجم)، ما هى الجيولوجيا؟

د. سيد رمضان هدارة (مترجم)، طاقة الرياح: نقطة تحول

د. عادل عبدالرحمن نجم، كوارث الحريق، وكوارث السيول

د. مصطفى إبراهيم فهمى (مترجم)، الانقراض: جينات سيئة أم حظ سيئ؟

د. أحمد مستجير (مترجم)، الجينوم البشرى

م. على يوسف على (مترجم)، الهيولوية تصنع علما جديدا

أ. سمير يسرى، الطاقة الشمسية عالميا وعربيا

مجمع اللغة العربية، معجم الجيولوجيا

ولجأت إلى العديد من الدوريات التى تغطى موضوعات الكتاب حتى يكون النقل أميناً ودقيقاً قدر المستطاع.

سلك المؤلف فى عرض أفكاره ونظرياته وروايات شهود العيان للكوارث مسلكاً تربوياً؛ إذ يطرح القضية ويفسرهما ويشرح نظرياتها بأسلوب مشوق وسرد طريف على شكل أسئلة يجيب عليها بالمختصر المفيد «ما قل ودل»، وكثيراً ما يلجأ إلى الحواشى الجانبية لتوضيح النقاط الغامضة. مدعماً نصوصه بالأشكال التوضيحية والصور الجوية والجدول الإحصائية. ثم ينهى كل فصل بمجموعة من الأسئلة والاصطلاحات والمراجع المفيدة بما فيها أفلام الفيديو التى يمكن الرجوع إليها لمزيد من التأمل.

وسلك المترجم سبيل المؤلف؛ إذ ترجم أفكاره ونظرياته وروايات شهود العيان بأمانة وصدق؛ وأضاف إليها فى الهوامش ما يدعمها ويؤكد لها مستعينا بالمصادر الموثوق بصحتها مثل معجم الجيولوجيا وغيره.

وفى كل فصل تأتى عبارات واصطلاحات تعددت ترجماتها فى مختلف الكتب، ولكننى لجأت فى توثيقها بالهوامش إلى **معجم الجيولوجيا الصادر من مجمع اللغة العربية** وكتاب **ما هى الجيولوجيا؟** تأليف ويليام هـ. ماثيوز وترجمة الدكتور مختار رسمى ناشد الصادر بالمسلسل ١٨٢ من مشروع الألف كتاب الثانى فى الهيئة العامة للكتاب.

وفى ثبت المفردات والمصطلحات الوارد فى آخر الكتاب أضفت إلى المعانى والتعاريف المذكورة فى النص الأصلى تحت عنوان **Glossary** معانى وتعريف أخرى مدققة وموثقة، حتى أجلو الغموض عن بعضها وأوسع دائرة المفاهيم والمعرفة عن بقيتها أمام القارئ العربى.

وفى هذا المجال لا يسعنى إلا أن أتوجه بالشكر إلى الأستاذ الدكتور جابر عصفور الأمين العام للمجلس الأعلى للثقافة على موافقته على تكليفى بترجمة هذا الكتاب، وإلى الأستاذ طلعت الشايب على توجيهاته البناءة فى إعداده، وإلى الأستاذ صفوان الحريرى على متابعته الدءوبة لإخراجه وإلى الدكتور محمد هانى قزامل على مراجعته لبعض الفقرات العلمية، وإلى دار الكتاب المصرى ودار الكتاب اللبنانى على إهدائى مجموعة الكتب القيمة التى خدمت ترجمة هذا الكتاب، وإلى كل من ساهم بالكتابة والمراجعة والطباعة فى هذا الكتاب القيم.

ولا يفوتنى أن أتوجه بالشكر إلى ناشر النص الإنجليزى شركة **Mc Graw-Hill Higher Education** على موافقتها على ترجمته وإهدائها نسخة من الطبعة الجديدة فور صدورها وهى التى تمثل ترجمتها الآن بين يدى القارئ الكريم.

أسأل الله تعالى التوفيق.

توفيق على منصور

المقدمة

لماذا وُضع هذا الكتاب؟

فى باكورة السبعينيات من القرن العشرين قدّمتُ أنا وبيل جانوس دورة عن جيولوجيا البيئة فى جامعة ولاية سان دييجو. وكان من الطبيعى أن تهىء المعرفة المتنامية بالبيئة والنصوص الجيدة فى الكتب والمراجع عرضا تعليميا عاما يبحث فى المخاطر الجيولوجية واستغلال الموارد والتخلص من نفاياتها والتخطيط الذكى الذى يتناغم مع البيئة. وسجّل الانتساب للدورة نجاحا متوسطا ودويا بين طلاب الدورات المنعقدة على مدى عشر سنوات؛ ويتراوح عدد الحاضرين فى الدورة الواحدة من ٢٥ حتى ٣٥ طالبا.

وفى عام ١٩٨٧ تناقشتُ مع توم روكويل فى موضوع الدورة الخاصة بجيولوجية البيئة وتأملنا لماذا لم تحظ هذه الدورة باجتذاب عدد أكبر من المنتسبين. واتفقنا على أن أقسام الدورة المتعلقة بالكوارث الطبيعية أكثرها تشويقا.

ولهذا قمتُ رسميا بتغيير اسم الدورة ليكون «الكوارث الطبيعية» دون أن أغير فى موضوعات الدورة أو كتب النصوص المقررة، ولم أعلن عن التغيير بأية وسيلة. وعلى الفور، ما إن قرأ الطلاب عبارة «الكوارث الطبيعية» فى كراسة عرض منهاج الدورة حتى طاولت تسجيلات انتسابهم السحاب. والآن فى الألفية الثالثة نقدم أقساما عديدة لما يزيد عن ٣٥٠٠ مقعد للطلاب فى السنة الدراسية ولا يزال هذا العدد قاصرا عن تلبية جميع الطلبات.

ولا يلتزم طلاب جامعة ولاية سان دييجو بدراسة الكوارث الطبيعية؛ إذ يمكنهم اختيار ما يطلبون من أكثر من ٣٠ دورة ضمن عشرة أقسام تعرض دورات مثل

بيولوجيا الجنس والتطور وأصل الحياة والمحيطات والديناميكيات ومواجهة مرض نقص المناعة الإيدز. ولكن كثيرا من الطلاب يفضلون دورة الكوارث الطبيعية عن غيرها من الدورات. فإذا كان قسمك يحقق نجاحا من زيادة إقبال الطلاب عليه، فإننى أوصى مشددا بتقديم دورة عن الكوارث الطبيعية. فالزلازل والأعاصير الرعدية الممطرة (هوريكن) والأعاصير القمعية (تورنيدو) والقوى الأخرى ذات الطاقة العالية فى أرضنا النشطة تؤثر على حياة الأطفال. وهؤلاء الطلاب يريدون أن يفهموا لماذا تحدث هذه الكوارث الطبيعية. ويستطيع المعلمون أن يوجهوا اهتمام الطلاب الزائد إلى المعرفة الرفيعة المستوى بالعلم.

نبذة عن الكتاب

يركز هذا الكتاب الأضواء على الكوارث الطبيعية: كيف تركز قوى الأرض طاقاتها وتوجه ضربات قاصمة للبشر ومؤسساتهم. وكثيرا ما تتجاهل الحالات التاريخية العديدة التى تصف أعمال الإنسان وردود فعل البيئة المترتبة عليها؛ وهذه الموضوعات منطوية بها كتب النصوص الرائعة عن جيولوجيا البيئة. ولا يتناول هذا الكتاب استخراج الموارد واستغلالها والتخلص من نفاياتها؛ فهذه الموضوعات تغطيها كتب النصوص القيمة عن موارد الأرض ومعادنها وطاقاتها وتربتها ومياهها. ولكن هذا الكتاب يهتم بكيفية عمل عالم الطبيعة؛ وما ينتج عن ذلك من قتل للناس وإعاقتهم وتدمير منشاتهم.

ونحرص فى هذا الكتاب على تداول موضوعات خاصة هى:

- مصادر الطاقة التى تسبب الكوارث.
- الألواح التكتونية وتغير المناخ.
- القوى الأرضية الفاعلة فى الصخر والماء والغلاف الجوى.
- أهمية الزمن الجيولوجى.

- تعقيدات المتغيرات المتعددة التى تعمل متزامنة.

- حالات تاريخية تفصيلية ومقروءة.

ويهدف النص إلى شرح بعض المبادئ المهمة حول الأرض، ثم يبنى عليها مفاهيم أخرى من خلال الحالات التاريخية المتعددة. أمل أن يستمتع الطلاب بالقراءة الواقعية فى معظم أجزاء هذا الكتاب.

والنظام الأساسى لهذا الكتاب يستند إلى موضوع الطاقة. فالفصل الأول يمحس مصادر الطاقة الكامنة وراء الكوارث:

(١) الطاقة الداخلية للأرض الناجمة عن الارتطامات التشكيلية والخمود فى النشاط الإشعاعى المستمر.

(٢) الجاذبية.

(٣) الطاقة الخارجية الصادرة من الشمس.

(٤) ارتطام الكويكبات والمذنبات.

وفى الفصول من الثانى حتى السابع تناولنا الكوارث الناتجة عن الطاقة الداخلية، منظمة فى موضوع الألواح التكتونية. فيزودنا الفصل الثانى بالوصف الأساسى للألواح التكتونية وعلاقتها بالزلازل. ويغضى الفصل الثالث المبادئ الأساسية لجيولوجيا الزلازل وعلم الزلازل دون افتراض لمعرفة سابقة. وربما يود بعض الطلاب الأذكياء أن يكتفوا بتصفح هذا الفصل. ويستغل الفصل الرابع الألواح التكتونية والسجلات التاريخية وقبل التاريخية لشرح الزلازل على طول النطاق الغربى لأمريكا الشمالية. ويفحص الفصل الخامس تاريخ ومستقبل الزلازل فى بقية بقاع أمريكا الشمالية. والهدف هو تغطية كل منطقة جغرافية وتاريخ الزلازل الكبرى فيها؛ وربما يرغب المعلمون فى شرح جزء فقط من هذا الفصل. ويناقش الفصل السادس البراكين، بينما ينسب الفصل السابع ظاهرة البراكين إلى الألواح التكتونية. وفى كل فصل نستعرض حالات تاريخية لإضفاء الحيوية على النص.

والكوارث التي تحدثها الجاذبية مبدئياً يغطيها الفصل الثامن المختص بحركات الكتل الصخرية والجليدية. وقد نوقشت عدة نماذج مدعمة بالصور من سقوط وتدفق إلى انزلاق وخسف (هبوط).

أما الكوارث التي تحدثها الطاقة الخارجية للشمس فتناولتها الفصول من التاسع حتى الثالث عشر. فالفصل التاسع يلقي الضوء على تغير المناخ؛ ويعتبر قاعدة للفصول التالية. فمبادئ المناخ التي تتحكم في نقل الطاقة عبر مقاييس الزمن بالملايين والآلاف والمئات والعديد من السنين تمت مناقشتها. وتقلص بؤرة الزمن خلال هذا الفصل لتنتقل إلى الفصل العاشر الذي يناقش ظواهر الطقس القاسى مثل العواصف الرعدية والبرق والأعاصير القمعية (تورنيدو). ويتفحص الفصل الحادى عشر الأعاصير الرعدية البرقية الممطرة (هوريكن) وخط الساحل. ويستمر التركيز على الماء فى الفصل الثانى عشر فى الفيضانات ودور النشاطات البشرية فى زيادة الخسائر الناجمة عنها. ويناقش الفصل الثالث عشر موضوع الحريق وكيفية انطلاق ضوء الشمس الذى تتعرض له النباتات لمدد طويلة بالتمثيل الضوئى وتخزينه فى أنسجتها العضوية.

وقبل أن تنتقل إلى المصدر الرابع للطاقة (الارتطام) يبحث الفصل الرابع عشر الوفيات العظمى المحفوظة فى سجل الحفائر. والهدف من ذلك هو توثيق أضخم الكوارث الطبيعية على الإطلاق واستخدام المتغيرات المتعددة فى تحليل أسبابها. وتفحص الانقراضات النوعية الشاملة باستخدام عناصر مسببة لها مثل اتحاد وانفصال القارات وتغير المناخ وفيضانات البازلت البركانية وارتفاع وانخفاض مستوى سطح البحر والارتطام والقوى البيولوجية ودور البشر فى الوفيات الشاملة الأخيرة. ويناقش الفصل الخامس عشر آليات الارتطام بتفصيل دقيق شاملا الخطط الموضوعية لحماية الأرض من ارتطام الأجرام السماوية بها فى المستقبل.

ويدرس الفصل السادس عشر نمو التعداد السكانى، والتضاعف اللوغاريتمى غير المسبوق فى زيادة التعداد البشرى.

ويحتوى هذا الكتاب على مادة غزيرة، وربما كانت من الوفرة بحيث لا يمكن تغطيتها فى فصل دراسى واحد. ولكن المجال الفسيح لموضوعات الكوارث الطبيعية

يهيئ لكل معلّم الفرصة لاختيار الفصول التى تناسبه لتغطية ما يهمله وما يختص بالمخاطر المحلية.

شكر وعرفان

أقدر كل التقدير المساعدات التى قدمها الآخرون لجعل هذا الكتاب حقيقة ملموسة. فجميع الأشكال تقريبا خطها ورسمها رينى ويدجيمكرز من جامعة ولاية سان دييجو. فموهبة رينى واستعداده الطيب للمساعدة لا يمكن تقييمهما. ومجموعة الصور التى احتواها الكتاب تم اختيارها من بين مجموعة الصور الجوية المقدمة بنفس راضية من جون س. شيلتون أعظم المصورين الجيولوجيين على الإطلاق. ومعظم الصور المقدمة من جون أضيفت إلى هذه الطبعة الثالثة. ومجموعة الصور المقدمة من جون شيلتون تعتبر الثانية فى العدد بعد المجموعة التى اشتمل عليها كتابه القيم **الجيولوجيا المصورة**.

وإننى لمدین بالشكر لغيره من الجيولوجيين الذين قدموا صورا ومنهم: آلان مايو من شركة النشر للصور الجيولوجية عن صور بالوعة وينتر بارك وفيضان تكسون، وجيرالد ج. كوهن من سان دييجو عن صور من مجموعة صور مكوك الفضاء، ومايكل وهارت من سان دييجو عن صور تحرك الكتل الصخرية والجليدية، وآل بوست من كالترانز عن صور زلزال سان فيرناندو، وبيتر ديجاند من جامعة نورثريدج بولاية كاليفورنيا، وجريج ديفيس من جامعة جنوبى كاليفورنيا، وكارى سيه من كالتيتش عن صور زلزال نورثريدج، وتيم داوسون عن زلازل تركيا، وجوزى أجير عن حريق بيركلى، ومكتبة صور المساحة الجيولوجية بالولايات المتحدة.

وحظيت الطبعة الأولى فى كثير من فصولها بالمراجعة القيمة من زملائى فى جامعة ولاية سان دييجو وهم: مايكل ج. والويندر للظاهرة البركانية وج.ديفيد أرشيبالد وريتشارد ه.ميللر للوفيات العظمى وديفيد ل.كيمبرو للارتطام.

وارتفعت جودة الكتاب كثيرا بالفكر الثاقب والنقد البناء للمراجعين الآتين بعد: كيفين بى. فيرلونغ من جامعة ولاية بنسلفانيا، وإيرنست ل. كيرن من جامعة جنوب شرقى ولاية ميسورى، وجون هيدرو من جامعة شمالى كولورادو - جرينزبورو، وبول ك. جروجر من جامعة كولورادو - كلورادو، ودونالد جى ستيرمان من جامعة توليدو، وجورج هوبر من جامعة ويسكونسين - لاكروس.

وتطورت الطبعة الثانية كثيرا باتباع وجهات نظر القراء لهذا الكتاب ومنهم بيتر سادلر من جامعة كاليفورنيا، والدكتور بايلور. وتطورت التغطية للبراكين كثيرا بعد نصيحة فيكتور إى. كامب من جامعة ولاية سان دييجو.

أما عن الطبعة الثالثة فقد تم فيها تحديث وتغيير جميع الفصول. ويشمل ذلك مراجعات مكثفة وتغطية مزيّدة ومهمة فى الفصل التاسع عن تغير المناخ، وفى الفصل العاشر عن الطقس القاسى شاملا الأعاصير القمعية (تورنيدو) وفى الفصل الحادى عشر عن الأعاصير الرعدية البرقية الممطرة (هوريكن) وفى الفصل الثانى عشر عن الفيضانات.

وهذه الفصول الأربعة بالذات حظيت بنصوص جديدة متعددة، وبكثير من الصور الجديدة وبالعديد من المخططات الفنية الجديدة. واستفادت الطبعة الثالثة كثيرا من المراجعات التفصيلية للآتين بعد:

- وانج بينج تشين من جامعة إيلينوى فى إيرنانا كامبين.

- باتريك كولجان من جامعة الشمال الشرقى.

- مايكل كونوى من جامعة أريزونا الغربية.

- مايكل فوريسست من كلية ريوهوند جونير.

- ديفيد جونزاليس من كلية فورت لويس.

- ألان ليستر من جامعة كولورادو.

- جون نورس من الجامعة التقنية بولاية كاليفورنيا.

- بينج مينج شين تو من جامعة إنديانا .

- فيليب ساكسينج من جامعة شمالي أيوا .

وأتقدم بالشكر لكل من تقدم بالمساعدة من جامعة ولاية سان دييجو وأخص منهم: جاكوب ووشبيرن على رسومه الخطية الأصلية وتوم كاراسكو على مساعدته القيمة في صور الحاسب الإلكتروني والرسوم الحية وميرى جريس على وضع الكثير من الجداول.

كما أقدم جزيل الشكر لذوى المواهب الفذة والإنجازات البارعة من العاملين في مجال الطباعة والنشر في مؤسسة ماك جروهيل في دوبيوك الذين تداولوا المخطوطات وأخرجوا منها هذا الكتاب. أما عن أوجه القصور التي ظهرت في الكتاب فأننا وحدي المسئول عنها. وأتقبل النقد بصدق وسواء ما كان مؤيدا أو مخالفا لما ورد في الكتاب وكذلك المراجعات المقترحة.

بات أبوت

pabbott @ geology. sdsu. edu

الفصل الأول

مصادر الطاقة المسببة للكوارث

لا تنفصل هنا الآثار عن الأسباب

ولا تنفصل هنا الغايات عن الطرق

ولا تنفصل هنا الثمرات عن البذرة

فكل الأسباب مهيأة فيها الآثار

وكل الطرق مهيأة فيها الغايات

وكل ثمار تنهياً فيها البذرة

رالف والدو إيميرسون، ١٨٤١

المقابل

تحدث الكوارث حيثما وحينما تركز القوى الطبيعية في الأرض طاقتها ثم تطلقها فتهلك الحياة وتسبب الدمار. ويبلغ اهتمامنا ذروته خاصة حينما تسدد هذه الطاقة ضربات قاصمة للبشر. ففي عام ١٩٩٩ فَقَدَ ١٠٥٠٠٠ إنسان حياتهم في الكوارث الطبيعية (الجدول ١-١). حدثت الوفيات في المقام الأول بسبب الطقس القاسى والفيضانات؛ وفي المقام الثانى بسبب الزلازل. وشملت أحداث القتل في عام ١٩٩٩ العالم بأسره.

ونظرا لتسارع التعداد السكاني في العالم، يجد كثير من الناس أنفسهم يعيشون بالقرب من أكثر مناطق الأرض خطورة. وتعرض لنا وسائل الإعلام الحديثة كثيرا من الصور الحية والروايات عن الخسائر الكبرى في حياة الإنسان وتدمير ممتلكاته بسبب الكوارث الطبيعية. ويقول بوث تاركينجتون: «إن تاريخ الكوارث هو تاريخ مقابلة الأضداد».

ولكى ندرك المخاطر الطبيعية التي تقتل الإنسان الغافل وتعجزه، فلا بد أن نعرف مصادر الطاقة التي تغذى قوى الأرض. فهناك أربعة مصادر أولية تجعل الأرض كوكبا نشيطا: (١) الحرارة الداخلية للأرض، (٢) الشمس، (٣) الجاذبية، (٤) ارتطام أجسام من خارج نطاق الأرض وغلافها الجوى.

فالطاقة المخزونة في باطن الأرض تندفع باستمرار إلى السطح. وعلى مدى فترات زمنية قصيرة تنطلق الطاقة الداخلية على شكل ثورات بركانية وزلازل؛ وعلى مدى فترات أطول في الزمن الجيولوجي عملت على تكوين القارات والمحيطات والغلاف الجوى. وبمقياس الكوكب الأرضي أدى تدفق الطاقة الداخلية إلى الخارج إلى انجراف القارات وتصادمها. وبهذا تكونت سلاسل الجبال والهضاب المرتفعة. وهذه القوى المنبثقة من الداخل والتي شكلت القارات تقابلها الطاقة الخارجية للشمس وتدعمها الجاذبية.

وحوالي ربع طاقة الشمس التي تصل إلى الأرض تبخر الماء وترفعه إلى الغلاف الجوى. وفي الوقت ذاته تساعد قوى الجذب المستمرة للجاذبية على إسقاط الضباب المتكثف في الغلاف الجوى على شكل ثلوج أو أمطار. وتدعم الجاذبية عناصر التحات(*)- المتلجات(**) والأنهار والمياه الجوفية والرياح وأمواج المحيطات وتياراتها- التي تبرى القارات وتكدس فتاتها وفضلاتها الذائبة في البحار. وعلى هذا، فإن

(*) التحات erosion: العمل الجيولوجي الذي تحدثه المواد في سطح الأرض حين نقلها بعوامل التعرية، ويعتبر أول مرحلة من مراحل عملية نقل الرواسب المفككة. (معجم الجيولوجيا- المترجم)

(**) المتلجة glacier: تجمع جليدى عظيم غير ثابت قد يتحرك في مجار تشبه الأنهار. (معجم الجيولوجيا- المترجم)

الإشعاع الشمسى أهم مصادر الطاقة الخارجية لأنه يبخر الماء ويرفعه، بينما الجاذبية هى القوة المباشرة التى تدفع عناصر التحات.

وهناك مصدر آخر من مصادر الطاقة يصل إلى الأرض زائرا من الفضاء الخارجى مثل الكويكبات(*) والمذنبات(**). ورغم أن ارتطام الأجسام الكبيرة لا يتكرر كثيرا، فإن مضارها قد تلحق بالكرة الأرضية بأسرها.

وينشأ صراع طويل الأمد بين قوى البناء المدعومة من الداخل التى تبنى وترفع كتل اليابسة وبين قوى الهدم المدعومة من الخارج التى تحات القارات وتكس حثاتها(***) فى قيعان المحيطات. فإذا توقف بناء الجبال وارتفاعها، تضافرت قوى عناصر التحات مجتمعة فى خفض مستوى القارات إلى مستوى سطح البحر فى ظرف ٤٥ مليون سنة. وللوهلة الأولى يبدو هذا الزمن طويلا جدا ولكن عمر الأرض يقدر بحوالى ٤,٥٧ بليون سنة. وهذا العمر الطويل للأرض يشير إلى أن التحات يبلغ من القوة حدا يمكنه من تسوية القارات مائة مرة تقريبا. وهذا يوضح لنا أن القوى الداخلية البناءة قادرة على الحفاظ على ارتفاع القارات القديمة وإضافة مساحات جديدة من اليابسة. والويل للبشر ولظواهر الحياة الأخرى التى تقترب كثيرا من هذه القوى البانية وتلك القوى الهادمة؛ فهى التى تحدث فيها الكوارث.

أصل الشمس والكواكب

لكى نفهم أصل وطبيعة الطاقة الداخلية للأرض يتعين علينا أن نعرف التاريخ المبكر لكوكبنا هذا. فالأرض كوكب نشيط؛ فهى تعيد دورة صخورها وبهذا تطمس

(*) الكويكب asteroid: أحد الكواكب الصغيرة جدا بين المريخ والمشتري ويعرف أيضا باسم Planetoid. (ما هى الجيولوجيا؟ - المترجم)

(**) المذنب Comet: جرم سماوى يدور فى مدار شديد البيضوية وله نواة محددة يحيط بها الضوء، وعادة يلمع ذيله وهو يدور حول الشمس. (معجم تشيمبرز- المترجم)

(***) تحات الشئ: تناثر- تاكل - سقط. والحثات ما تناثر منه. (المعجم الوسيط- المترجم)

كثيرا من سجلات تاريخها القديم. فكلما كانت الصخور قديمة زاد الزمن وكثرت الفرص المتاحة لتدميرها. إلا أن الصخور القديمة الباقية ومعلوماتنا المتنامية عن القوى التي تتفاعل في باطن الأرض وعن المنظومة الشمسية تسمح لنا ببناء فكرة تقريبية متزايدة ومعقدة للتاريخ القديم للأرض.

وأوسع الأفكار انتشارا وقبولا عن أصل المنظومة الشمسية وضعها الفيلسوف الألماني إيمانويل كانت في عام ١٧٥٥؛ إذ ظن أن الشمس والكواكب تضاخمت عن طريق ارتطام المادة التي تدور في سحابة دوارة من الغاز والرماد.

بدأت المرحلة الأولى للنمو منذ حوالي ٤,٦ بليون سنة ضمن سحابة دائرية دوارة من الغاز والجليد والرماد وبقايا صلبة أخرى (الشكل ١-١ أ، ب). وبفعل الجاذبية على المادة في السحابة تجاذبت الجزيئات إلى بعضها البعض حتى التصقت. والتصقت الجزيئات الصغيرة وكبر حجمها حتى صارت أكثر قدرة على جذب الجزيئات القريبة؛ وبالتالي حدثت ارتطامات أكثر. وكلما سحبت المادة إلى الداخل ونقص حجم السحابة زادت سرعة الدوران وبدأت الكتلة تتسطح على شكل قرص (الشكل ١-١ ج). وأكبر تجمع للمادة حدث في مركز القرص، بانيا الشمس التي نراها اليوم (الشكل ١-١ د، هـ). والعنصران الرئيسيان المكونان للشمس هما الإيدروجين (يد) والهيليوم (هـ) الخفيف الوزن. وكلما نمت الكتلة المركزية زادت درجة حرارتها الداخلية حتى بلغت حوالي ١٠٠٠٠٠ درجة مئوية (س) أي ١٨٠٠٠٠٠ درجة مئوية فهرنهايتية (ف) وبدأت عملية الانصهار النووي. وفي الانصهار النووي، تلتحم (تندمج) ذرات الإيدروجين الصغيرة لتكون الهيليوم ويتحول بعض المادة إلى طاقة. ونشعر نحن سكان هذه الأرض بتلك الطاقة على شكل أشعة للشمس.

أما الحلقات المتبقية من المادة في النظام الشمسي الدوار فتشكل أجساما كبيرة من استمرار تصادم الجزيئات والتحامها ببعضها لتكون الكواكب (الشكل ١-١ و). ويؤدي الارتطام القوى في المراحل المتأخرة بين الأجسام الكبيرة إلى إذابة كميات كبيرة من الصخر في عناصر سريعة التبخر حتى تنتشر في الفضاء. وتكونت الكواكب الداخلية (عطارد والزهرة والأرض والمريخ) بالقرب من الشمس بحيث أدت أشعة

الشمس إلى طرد معظم الغازات السريعة التبخر وإلى تبخر السوائل بسهولة، مخلفة وراءها الكواكب الصخرية. أما الكواكب الأربعة التالية الخارجية (المشتري وزحل وأورانوس ونبتيون) فهي أجسام جليدية عملاقة تتكون من الإيدروجين والهيليوم ومواد أخرى متجمدة منذ النشأة الأولى للمجموعة الشمسية.

المصادر الداخلية للطاقة

يبدو أن الأرض بدأت بتجمع كتلة من الجزيئات والغازات من السحابة الدوارة منذ حوالي ٤,٥٧ بليون سنة مضت. وعلى مدى ٥٠-١٠٠ مليون سنة تجمعت قطع وأجزاء من جزيئات غنية بالمعادن (تشبه الشهاب*) (الغنية بالحديد) وصخور (تشبه الشهاب الصخرية) والجليد (المكون من الماء وثاني أكسيد الكربون ومركبات أخرى) لتشكل الأرض. وكلما تضخمت الكرة المكونة من جزيئات ملتحمة جذبت قوة الجاذبية قطعاً معدنية أكثر نحو المركز بينما تركزت المواد الأخف وزناً بالقرب من السطح. إلا أن الأرض في باكورة نشأتها ربما نمت من تصادم عشوائى للفتات لتكون خليطاً متجانساً من المواد إلى حد ما.

ولكن الأرض لم تظل متجانسة. فالقوى المكونة للكوكب (الشكل ١-٢) ولدت كميات هائلة من الحرارة غيرت الكوكب الشاب تغييراً جذرياً من الكرة المتجانسة نسبياً إلى كتلة متطابقة بالكثافة؛ فالمواد الأثقل تستقر في المركز بينما تتصاعد المواد الأخف إلى الخارج حتى الغلاف الجوى. وتولدت الحرارة التي شكلت الأرض مبدئياً من: (١) طاقة الارتطام، (٢) طاقة الجاذبية، (٣) الخمود التلقائى للعناصر ذات النشاط الإشعاعى.

(*) الشهاب meteor. واحد من عدد لا يحصى من الأجسام الصغيرة تدور فى الفضاء وتبدو للناظر كرة ملتهبة أو مقذوفاً نجمياً عندما يدخل الغلاف الجوى للأرض. (تشيمبرز- المترجم)

النيزك meteorite: شهاب سقط على الأرض كتلة من الصخر أو المعدن. (تشيمبرز- المترجم)

الرجم meteoroid: شهاب لم يصل بعد إلى الغلاف الجوى للأرض. (تشيمبرز- المترجم)

طاقة الارتطام

تولدت الحرارة من الطاقة الناجمة عن ارتطام الجزيئات بالأرض في مرحلة نموها. فهناك أعداد هائلة من الكويكبات الصغيرة والكبيرة والنيازك والمذنبات ضربت الأرض في باكورة أيامها فتحوّلت طاقتها الحركية إلى حرارة عند الارتطام. وتستطيع الصدمات الكبيرة أن تولّد من الحرارة ما يكفي لتبخير الصخر وإذابته. فمثلاً، تتضمن النظرية السائدة عن أصل قمر الأرض ارتطاماً مبكراً للأرض في صباها بجرم في مثل حجم المريخ. وتولّدت عن الارتطام سحابة هائلة من الأبخرة، تكثف جزء منها ليكوّن القمر. وهذه النظرية توحى بأن القمر في أغلب الظن تكوّن من الوشاح(*) الصخري للأرض. وتفسر النظرية أسباب قلة الحديد في القمر (فمعظم الحديد يقع في اللب(**) المركزى للأرض)، وخلوه تقريباً من المواد الخفيفة (مثل الغازات والماء)، التي ربما تكون قد تسربت إلى الفضاء.

طاقة الجاذبية

انطلقت طاقة الجاذبية من الأرض عندما اجتذبت كتلة ذات كثافة متزايدة في فترتها الأولى منذ ٥٠ - ١٠٠ مليون سنة. وباستمرار الدفن العميق للمادة داخل الكتلة المتنامية للأرض تزايدت قوة الجاذبية وتزايد اندماجها في الداخل. وطاقة الجاذبية هذه تحولت إلى حرارة لم تتسرب بسبب البطء الشديد لقدرة الصخور على توصيل الحرارة. وعندما ترتفع درجة الحرارة الداخلية إلى أعلى من ١٠٠٠ درجة مئوية أو ١٨٠٠ درجة فهرنهايتية تتجاوز نقطة ذوبان الحديد في مختلف الأعماق تحت سطح الأرض. ويشكل الحديد ثلث كتلة الأرض؛ ورغم أنه أعلى كثافة من الصخر العادي، فإنه يسيل عند درجات حرارة أقل كثيراً. فتركيز الحرارة يؤدي إلى إذابة كتل هائلة من

(*) الوشاح mantle: الجزء السميك الثقيل الذي يلي قشرة الأرض ويمتد إلى عمق حوالى ٢٠٠ كيلومتر تحت سطح الأرض. (ما هي الجيولوجيا؟- المترجم)

(**) لب، نواة core: النطاق الكثيف القريب من مركز الأرض. (ما هي الجيولوجيا؟- المترجم)

النيازك الغنية بالحديد، وينجذب الحديد السائل ذو الكثافة العالية بقوة الجاذبية نحو مركز الأرض. وعندما تتحرك هذه الكميات الهائلة من الحديد السائل للداخل لتشكل لب الأرض، تطلق مقداراً هائلاً من طاقة الجاذبية التي تتحول إلى حرارة وربما ترفع درجة الحرارة الداخلية للأرض بمقدار ٢٠٠٠ درجة مئوية أخرى. ويتولد عن انطلاق هذا القدر الهائل من الحرارة انتشار الذوبان الذي يؤدي إلى ارتفاع المواد القليلة الكثافة لتكون: (١) القشرة الأولية على سطح الأرض من المواد القليلة الكثافة، (٢) المحيطات الكبرى، (٣) غلاف جوى ثقيل. ويعتبر تكوين اللب الغنى بالحديد حدثاً فريداً فى تاريخ الأرض.

الطاقة المنبعثة من العناصر المشعة

تنطلق الطاقة من العناصر المشعة عندما تخمد. فالذرات المشعة غير مستقرة وتعمل على طرد الجزيئات شبه الذرية لكى تحظى بالاستقرار. وعندما تخمد الذرات المشعة تنبعث منها الحرارة.

وفى بداية تكوين الأرض كانت تشتمل على كثير من العناصر ذات النشاط الإشعاعى القصير المدى مثل الألومنيوم-٢٦ الذى يعتبر مستنفذاً لفاعليته الآن، وكذلك على عناصر ذات نشاط إشعاعى طويل المدى استنفذ كثير منه الآن معظم طاقته (الجدول ١-٢). وكانت الأرض فى صباها تشتمل على مجموعة كبيرة من العناصر المشعة وقد أوفر من الحرارة المتولدة عنها عما هى عليه الآن (الشكل ١-٣). ويتناقص الناتج من الحرارة المتولدة عن العناصر المشعة فى باطن الأرض فإن الطاقة المتدفقة من باطن الأرض يميل منحناها إلى الهبوط ببطء متجهاً نحو الصفر.

وتقاس عملية خمود النشاط الإشعاعى بعمر النصف وهو طول الفترة الزمنية اللازمة لنصف عدد الذرات من العنصر المشع المتبقى حالياً (الأم) لكى يتحلل ويصبح منتجاً خامداً (الابنة). ويوضح المنحنى فى الشكل (١-٤) أن نصف الذرات المشعة خمدت أثناء نصف العمر الأول. وفى نصف العمر الثانى يخمد نصف عدد الذرات المشعة المتبقية (بما يعادل ٢٥٪

من الذرات الأصلية الأم. ويشهد العمر الثالث التصنيف الثالث للذرات المشعة الحالية ١٢,٥٪ من عدد الذرات الأصلية الأم)، وهكذا. ويتوقع أنصاف الأعمار على مقياس الزمن نحصل على منحنى تضاعف لوغاريتمى سلبى (الشكل ١-٤)؛ وهو منحنى تضاعف لوغاريتمى إيجابى معكوس، مثل العائد من المال المودع فى دفتر توفير.

ومجموع الطاقة الداخلية الناتجة من الارتطام والجاذبية والعناصر المشعة بالإضافة إلى الطاقة المتولدة من الاحتكاك المدى كبير جدا. وتضافرت الوفرة الوفيرة للعناصر المشعة منذ بدء تكوين الأرض مع الحشد المبكر للجاذبية وارتطامات النيازك المتكررة لترفع درجة الحرارة الداخلية للأرض أثناء تاريخها المبكر. والجدير بالذكر أن الحرارة المتجمعة فى داخل الأرض بلغت ذروتها مبكرا فى تاريخ الأرض ثم أخذت تتناقص بشكل ملحوظ منذ ذلك الوقت. إلا أن تدفق الحرارة الداخلية إلى سطح الأرض اليوم لا يزال كبيرا بالقدر الكافى لتزويد القارات بالطاقة اللازمة حتى تنجرف والبراكين حتى تثور والزلازل حتى تزلزل.

عمر الأرض

يقدر عمر الأرض بحوالى ٤,٥٧ بليون سنة تقريبا أى ٤٥٧٠ مليون سنة وهو زمن يكفى لحدوث كثير من التغيرات. وتم قياس هذا العمر باستخدام العناصر المشعة ونواتجها الخاملة التى جمعت من صخور القمر والنيازك. وأقدم صخور الأرض يقدر عمرها بحوالى ٤,٠٥٥ بليون سنة فى شمال غربى كندا وبحوالى ٣,٩ بليون سنة فى جرينلاند. وهذه الصخور من مكونات القشرة الأرضية، وتدل على أنها أعيدت دوراتها وتكونت من صخور أقدم منها بكثير. (وأقدم عمر للمواد الموجودة على ظهر الأرض هو ٤,٢٨٨ بليون سنة مقاسا على حبيبات رمل الزركون^(*) المأخوذة من حجر رملى غربى أستراليا ويبلغ عمره ٣,١ بليون سنة).

(*) زركون zircon: معدن يتربك كيميائيا من سيليكات الزركونيوم، ويتبلور فى فصيلة الرباعى، ويستعمل فى صناعة الحراريات وكحجر كريم باسم هياسينث hyacinth ويعتبر الخام الرئيسى لعنصر الزركونيوم. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

كيف نستنتج أن عمر الأرض ٤,٥٧ بليون سنة إذا كان أقدم الصخور المعروفة يقل قليلا عن ٤ بليون سنة وأقدم المعادن المعروفة يبلغ عمرها ٤,٢ بليون سنة؛ فالأرض كوكب نشيط تتشكل صخوره السطحية وتدمر باستمرار. وبسبب عمليات الأرض النشيطة يندر الاحتفاظ بالمواد القديمة حقا؛ فهناك كثير من الأحداث على مدى سنين عديدة تدمر الصخور. وفي مقابل ذلك نرى أن أقدم صخور القمر الذى لم يعد نشيطا جيولوجيا، وأن النيازك التى تصل إلينا من ثلاجة الفضاء لها عمر ثابت هو حوالى ٤,٥٧ بليون سنة. وبافتراض أن العمر الأصلي لكل من الأرض والقمر والنيازك وبقية كواكب المجموعة الشمسية هو ٤,٥٧ بليون سنة التى قيست على صخور القمر والنيازك، لذلك فإن هذا العمر ينطبق على الجميع. وعلى هذا يمكننا أن نستنتج من الدليل المباشر أن عمر الأرض هو من ٤ إلى ٤,٢ بليون سنة ونضيف كذلك من ٠,٣٥ حتى ٠,٥٧ بليون سنة لى يتعادل عمر الأرض مع عمر القمر والنيازك.

حاشية جانبية: العناصر المشعة

تنطلق الطاقة من العناصر المشعة فى عملية الانشطار النووى عندما تفرز الذرات المشعة الأم غير المستقرة جسيمات شبه نووية زائدة. فيقل وزنها وتصبح نواة ابنة أصغر (الشكل ١-٥). ونويات الذرات المشعة غير مستقرة وتحتوى على كثير جدا من الجسيمات شبه الذرية من البروتونات الموجبة الشحنة والنيوترونات المتعادلة الشحنة. وتتضاءل الذرة المشعة المفرطة فى الثقل حتى تصل إلى وزن مستقر بقذف: (١) جسيمات ألفا تتكون من بروتونين ونيوترونين (وبفاعلية خاصة نواة ذرة الهيليوم)، (٢) جزيئات بيتا وهى إلكترونات تنطلق عند انشطار النواة، (٣) أشعة جاما التى تشبه أشعة إكس، ولكن ذات موجات أقصر طولاً. وعندما تقذف الجسيمات بسرعة وتتباطأ حتى تمتصها المادة المحيطة بها، تتحول طاقتها الحركية إلى حرارة.

تقدير أوقات أحداث تاريخ الأرض

ويمكن اعتبار نفس العناصر المشعة عند خمودها محدثة حرارة في باطن الأرض ساعات نقرأ فيها تاريخاً للأحداث طوال عمر الأرض. فمثلاً، يخمد اليورانيوم 238 ويصير الرصاص 206 في مراحل متعددة شاملاً مختلف النظائر والعناصر الجديدة (الشكل ١-٦)، وبقدف جسيمات ألفا وبيتا تفقد نواة اليورانيوم 238 عدد ٣٢ جسيماً شبه ذري من عدد 238 ، ويبقى 206 جسيمات من نواة الرصاص 206 . وقدرت القياسات العملية معدل عملية خمود اليورانيوم 238 وتحوله إلى الرصاص 206 بنصف العمر ٤,٥ بليون سنة. وهذه الحقائق يمكن تطبيقها لتقدير تاريخ الأرض بقراءة مقاييس الطاقة الإشعاعية المحفوظة في بعض المعادن. فمثلاً، يمكن طحن بعض الصخور النارية(*) (التي تبلورت من الصهارة**) وفصل معدن الزركون الشديد الصلادة منه (وهو الذي يصنع منه الزركونيوم البديل عن الألماس في الصياغة). فبلورات الزركون تحتوى على اليورانيوم 238 الذي انطوى عليه بناؤها الذري عندما تبلورت من الصهارة، ولكنها لم تحتو أصلاً على الرصاص 206 . وعلى ذلك فكل الرصاص 206 الذي يوجد في البلورات لابد أن يكون مصدره اليورانيوم 238 بعد خموده. وتطحن بلورات الزركون التي جمعت حتى تصير مسحوقاً وتذاب في حامض تحت ظروف غاية في النظافة. وتوضع العينة في مقياس كبير للطيف لقياس مقدار ذرات اليورانيوم 238 الأم ومقدار ذرات الرصاص 206 الابنة. وحينئذ نحصل على ثلاثة مقادير: (١) مقدار اليورانيوم 238 ، (٢) مقدار الرصاص 206 ، (٣) نصف العمر لعملية الخمود وهو ٤,٥ بليون سنة- ومنها يسهل تقدير العمر الذي استغرقه اليورانيوم 238 ليخمد ويصير رصاصاً 206 في بلورة الزركون. وبعبارة أخرى تدلنا العملية الحسابية على العمر الذي استغرقته بلورة الزركون حتى تتشكل، وبالتالي نعرف زمن تشكيل الصخر الناري.

(*) صخر ناري igneous rock: صهارة متجمدة في هيئة صخر متبلور. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

(**) الصهارة (ماجما) magma. نوب الصخر في باطن الأرض. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

حاشية جانبية: كوارث النشاط الإشعاعى

يذكرنا مصطلح «كوارث النشاط الإشعاعى» بانصهار اللب الغنى باليورانيوم فى المفاعل النووى لتوليد القوى، مثلما حدث فى شيرنوبيل فى أوكرانيا بالاتحاد السوفييتى السابق فى يوم ٢٦ أبريل ١٩٨٦. حدثت هذه الكارثة التى صنعها الإنسان عندما ارتكب عمال المناوبة الليلية سلسلة من الأخطاء أطلقت موجة من القوة أحدثت انفجارات هائلة أطاحت بالغطاء الذى يغطى لب المفاعل النووى البالغ وزنه ألف طن ونسف جدرانه وأسقفه وأدى إلى الانصهار الجزئى للوقود المشع لللب المفاعل وقذف بعدة أطنان من وقود ثانى أكسيد اليورانيوم ونواتج الانشطار مثل السيزيوم ١٣٧ واليود ١٣١ فى سحابة ريشية يبلغ ارتفاعها ٥ كم (٣ أميال). وانطلق أكثر من ١٨٥ مليون كورى(*) من الذرات المشعة الخطيرة. (انبعث ١٧ كورى فى أسوأ حادث وقع فى الولايات المتحدة من المفاعل النووى لتوليد الطاقة فى ثرى مايل أيلاند فى ولاية بنسلفانيا فى عام ١٩٧٩). وبعد الانفجار الذى وقع فى الساعة ١,٢٤ صباحا كان الناس القريبون من شيرنوبيل محظوظين نسبيا إذ كانوا فى منازلهم ويتوافر لهم قدر من الوقاية، ولم تهطل بالمنطقة أمطار وارتفعت السحابة الملوثة عاليا ولم تتعلق بالأرض. وأضررت السحابة الحاملة للملوثات المشعة بالناس والحيوانات والدواجن والزراعات من إسكنديناوة حتى اليونان. وقتل ٣١ عاملا فى مفاعل توليد القوى فى شيرنوبيل. ولكن معظم الوفيات حدثت فيما بعد من السرطان والأمراض الأخرى. وفى نهاية عام ١٩٩٩ بلغ عدد الوفيات ١٦٥٠٠٠ نسمة نسبتها شركات التأمين السويسرية لهذا الحادث النووى. ومن المتوقع أن يموت الكثيرون فى السنوات القادمة.

وربما حدث زلزال فئاثار هذه الكوارث. وقد شاع فى أوروبا على نطاق واسع أن عمال مفاعل توليد القوى فى شيرنوبيل واجهتهم صعوبات فى الساعات المبكرة من صباح يوم ٢٦ أبريل حينما حدث زلزال قوته ٣ بمقياس ريختر على بعد ١٢ كم (٧ أميال). وظن المشرف على العمال الذى أصابه الذعر أن الهزة أصابت المفاعل ففقد

(*) كورى curie: وحدة قياس النشاط الإشعاعى. (المورد - المترجم)

السيطرة وسارع بإجراء مناورات طارئة عطلت العمل الداخلى للمفاعل مما أدى إلى الانفجار المهلك بعد ٢٢ ثانية من الزلزال. فهل يمكن اعتبار انصهار شيرنوبيل كارثة زلزالية؟

ولكن حادث شيرنوبيل كان كارثة سببها الإنسان. فماذا كان يحدث فى الظروف الطبيعية؟ فاليوم، وعلى الأرض والقمر يعرض اليورانيوم ٢٣٨ فى معظم الأحيان على أنه أثقل النظائر المشعة إذ تحتوى كل نواة من ذرات اليورانيوم على بروتونات ونيوترونات يبلغ مجموعها ٢٣٨. ويشكل أخف نظائر اليورانيوم وهو اليورانيوم ٢٣٥ نسبة ٠.٧٢٠٢٪ من كل ذرات اليورانيوم. وفى محطات القوى النووية يقوى خام اليورانيوم الذى يغذى المفاعلات النووية بنسبة ٢ حتى ٤٪ من اليورانيوم ٢٣٥ لتقوية التفاعل. ولنتذكر أن الجدول (١-٢) يرينا أن نصف العمر لليورانيوم ٢٣٥ هو ٠.٧١ بليون سنة بينما نصف العمر لليورانيوم ٢٣٨ هو ٤.٥ بليون سنة.

ونظرا إلى أن اليورانيوم ٢٣٥ يخمد أسرع فمن الجائز أن يكون أكثر نسبيا فى الزمن الجيولوجى الماضى. والواقع أنه فى أحد الأزمنة الماضية كانت النسبة الطبيعية لليورانيوم ٢٣٥ إلى اليورانيوم ٢٣٨ ربما تماثل نسبة اليورانيوم ٢٣٥ المضافة إلى اليورانيوم ٢٣٨ وتقدم خاما للمفاعلات اليوم.

هل كانت المفاعلات النووية الطبيعية تعمل فى الزمن الجيولوجى الماضى؟ نعم. والمثال الموثق جيدا عُرضَ فى منجم اليورانيوم فى أوكلو بالقرب من فرانسفيل فى جنوب شرقى جابون، إحدى الدول الساحلية فى غربى أفريقيا الاستوائية. ففى أوكلو منذ ٢.١ بليون سنة تراكمت الرمال والطين مع الكربون العضوى المتبقى من بقايا البكتيريا الحفرية. وهذه الرواسب الحاملة للكربون صارت غنية باليورانيوم؛ وصار اليورانيوم ٢٣٥ حينئذ يشكل ١٦.٣٪ من مجموع اليورانيوم. ودفنت الرمال والطين فى أعماق ضحلة وظل ٨٠٠ متر مكعب على الأقل من خام اليورانيوم يتعرض لتفاعلات الانشطار النووى التى ولدت حرارة إقليمية حوالى ٢٠٠م بالإضافة إلى حرارة محلية أعلى بكثير. وفى أوكلو بدأت ١٧ موقعا تعمل كمفاعلات نووية طبيعية منذ حوالى ١.٨٥ بليون سنة، واستمرت تعمل حوالى ٥٠٠٠٠٠ سنة على الأقل (وربما بلغت ٢ مليون

سنة). وهناك تسعة من هذه المفاعلات الطبيعية التي دُرِسَتْ بعناية يقدر ناتجها ١٧٨٠٠ ميجاوات من الطاقة على الأقل في السنة.

المصادر الخارجية للطاقة

تتدفق الطاقة المتولدة عن الانشطار النووي إلى سطح الأرض دائما عن طريق التوصيل(*) من باطن الأرض، وعن طريق الحمل الحراري(**) في الصحارة المندفعة من البراكين، وفي الماء من الينابيع الحارة. وتنتج هذه الطاقة الداخلية المتدفقة أعمالا جيولوجية فعالة، ولكن مجموع هذه الطاقة يعتبر ضئيلا بالمقارنة بالطاقة المنبعثة من الانصهار النووي الذي يحدث في الشمس (الشكل ١-٧). وتظهر الطاقة كذلك على السطح عن طريق قوة الشد الجاذبية بين الأرض والقمر والشمس التي تضيف طاقة المد إلى الأرض إلى جانب النيازك والكويكبات والمذنبات التي لا تزال ترتطم بكوكبنا.

الشمس

تصل إلى الأرض نسبة ضئيلة جدا من الطاقة التي تشعها الشمس، إلا أنها أكثر من ٥٣٠٠ ضعف للحرارة المنبعثة من باطن الأرض (الجدول ١-٣). ولا تشارك جميع الطاقة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض في إنجاز الأعمال (التي تبعث النشاط في الأرض وبين منظوماتها)، نظرا إلى أن حوالي ٣٠٪ منها ترتد مباشرة إلى الفضاء على شكل أشعة قصيرة الموجة (الشكل ١-٧). ويمتص الهواء والبحر واليابسة ٤٧٪ من الأشعة الشمسية القادمة على شكل حرارة. وللماء قدرة مذهلة على امتصاص

(*) التوصيل conduction: توصيل الضوء أو الحرارة أو الصوت أو الكهرباء بواسطة موصل. (المورد- المترجم)

(**) الحمل convection: ميكانيكية تحرك المادة بسبب اختلاف كثافتها عن كثافة المادة المحيطة بها. (ما هي الجيولوجيا ؟ - المترجم)

الطاقة الشمسية والاحتفاظ بها. فالمحيطات على سطح الأرض تمثل كتلة مائية هائلة بحيث تؤثر حرارة الشمس الساقطة عليها في حالة الطقس حول العالم. ففي اليوم العادى تكفى كمية الطاقة الشمسية التى تمتصها المحيطات ثم تعيد بثها على شكل أشعة ذات موجات طويلة لرفع حرارة الغلاف الجوى بأسره حوالى درجتين مئويتين (٣ درجات فهرنهايت). وعلى أية حال، ليست لدى الغلاف الجوى مثل هذه القدرة العالية على تخزين الحرارة؛ فإجمالى مخزونه من الحرارة يعادل ما يحتفظ به سطح المحيط بعمق ثلاثة أمتار (١٠ أقدام).

ويُسْتَنْفَذُ أكثر من ٢٣٪ من أشعة الشمس فى تبخير الماء الذى يرتفع بالحمل الحرارى إلى الغلاف الجوى نظرا لقلة كثافته متما بذلك أولى الأعمال الحيوية فى الدورة المائية. ذكر **الكتاب المقدس: العهد القديم** فى سفر الجامعة Ecclesiastes (*) فى الأصحاح الأول الآية ٧ فى القرن الثالث قبل الميلاد ما يلى: «تصب جميع الأنهار مياهها فى البحر، ولكن البحر لم يمتلئ أبدا، ولا تزال الأنهار تسعى فى مساراتها نحو أهدافها» (ترجمتى). فتبخر طاقة الأشعة الشمسية الماء مبدئيا من المحيطات ثم يسقط على اليابسة ويتدفق عائدا إلى البحر فوق سطح الأرض وتحتته (الشكل ١-٨). ومعظم هذا الماء يدور فى الدورة ذاتها زمنا بعد زمن ولمدة تزيد على ٤ بليون سنة. ويصف الشاعر بيرسى بيش شيللى هذه الدورة فى عام ١٨٢٠ فى قصيدته «السحابة»:

أنا ابنة الماء واليابسة

كذاك ربيبة تلك السماء

أمرُّ خلال ثقوب المحيط

(*) Ecclesiastes: أحد الأسفار فى العهد القديم الذى ينسب فى التراث إلى سليمان (عليه السلام).
(تسيمبرز- المترجم)

وفى **الكتاب المقدس أى العهد القديم والعهد الجديد**، سفر الجامعة الأصحاح الأول الآية ٧ ورد النص التالى: «كل الأنهار إلى البحر والبحر ليس بملآن. إلى المكان الذى جرت منه الأنهار إلى هناك تذهب راجعة». دار الكتاب المقدس فى الشرق الأوسط ص ٩٧٢.

وأمرق عبر جميع الشواطئ؛

أنا لا أموت ولكننى أنغير

ولا تزال الدورة المائية(*) موضوعا للدراسة. ويوضح الشكل (١-٩) حجم الماء فى المخزون المؤقت فى الجليد والبحيرات وتحت سطح الأرض وفى أماكن أخرى فضلا عن الماء الذى يحيط بنا. ويتعذر علينا تصور حجم الماء بآلاف الكيلومترات المكعبة (١, ٤ كم^٣ تعادل ميلا مكعبا واحدا)، ولكن الكميات الوفيرة نسبيا يسهل مقارنتها. فالدورة المائية تعمل فى حركة دائبة ونظام مستمر من التقطير والضخ. فحرارة الشمس تبخر الماء بينما تنتج النباتات (تبخر الخلايا الحية) الماء فى الغلاف الجوى. وتتكتف الرطوبة فى الغلاف الجوى وتسقط على شكل أمطار وثلوج. ويسقط بعضها فوق اليابسة ثم ينجذب عائدا إلى البحر بفعل الجاذبية على شكل مثالج وأنهار وتدفقات من المياه الجوفية، أى بصفتها عناصر للتعرية (التحات). ويبلغ عمر هذا النظام ٤ بليون سنة وسوف تستمر فى العمل طالما ظلت الشمس ساطعة والماء معرضا لها على سطح الأرض.

أين يُحفظ الماء على الأرض؟ تحتفظ المحيطات بالنصيب الأوفر: ٩٧,٣٪ من ماء الأرض الذى يغطى ٧١٪ من سطح الأرض. أما نسبة ٢,٧٪ المتبقية فمنها ٧٧٪ متجمد فى الثلجات و٢٢٪ يتحرك ببطء تحت سطح الأرض و١٪ الباقية تقتسمها الأنهار والبحيرات والبحار المغلقة والرطوبة فى التربة. ويوضح الجدول (١-٤) النسب المئوية لمواقع تخزين الماء فى الأرض عندما تخفض نسبيا إلى محتوى برميل سعته ٥٥ جالون. فالماء الشديد الحيوية للنباتات والحيوانات التى تعيش على اليابسة تعتبر نسبته ضئيلة فى الحجم عند مقارنتها بحجم مياه المحيطات.

وتوضح صور الأقمار الصناعية للأرض وفرة ماء المحيطات والماء المتحرك فى السحب فى الغلاف الجوى (الشكل ١-١١). فالغلاف الجوى والمحيطات تتحرك حركة

(*) دورة هيدرولوجية Hydraulic Cycle: عمليات تبخر ماء البحر ثم تكثفه على شكل المطر الذى يعود فى النهاية إلى البحر. (ما هى الجيولوجيا؟- المترجم)

دائبة حول الأرض، وترتبط أنظمة طاقتها ارتباطا وثيقا. فالرطوبة المتبخرة من المحيطات تحمل حرارتها الكامنة بالتبخر إلى أعلى في الغلاف الجوى حيث تتسرب. وتهب الرياح بدورها فوق سطح المحيط ناقلة الطاقة إلى الماء فتثير الأمواج. وكل من الماء المتحرك في الغلاف الجوى والمحيط يتأثر بدوران الأرض الذى يضيف إليه طاقات من الحركة. فدورة سطح المحيط تدفعها الرياح (الشكل ٩-١١)، بينما دورة عمق المحيط تدفع معظمها الاختلافات في الكثافة التي تسببها كتل الماء الباردة و/أو المالحة التي تغطس أو تتدفق إلى الأعماق في دورة أرضية (الشكل ١-١٢). فحزام التوصيل في المحيط في (الشكل ١-١٢) ينقل مقادير هائلة من الحرارة حول الأرض.

ويمكن اعتبار الغلاف الجوى بمثابة آلة حرارية تستخدم حرارة الأشعة الشمسية لتوليد الطاقة الميكانيكية للرياح. ويمتص الغلاف الجوى الحرارة مباشرة من الشمس وبطريقة غير مباشرة من الأبخرة المتصاعدة من الماء التي ريثما تبرد وتتكتف في الغلاف الجوى محررة الأشعة الشمسية المخزونة منها.

وتعتبر الكتل الهوائية الدافئة من المنطقة الاستوائية أقل كثافة فترتفع بالطفو وتتدفق نحو القطبين حيث تبرد وتسقط (الشكل ١-١٣). كما تتدفق كتل الهواء القطبية الباردة والكثيفة بعيدا عن القطبين متجهة نحو خط الاستواء. ويضيف دوران الأرض تحت القشرة السائلة القليلة الكثافة في الغلاف الجوى كثيرا من التعقيدات إلى هذا النموذج المبسط. ويوزع دوران الغلاف الجوى الحرارة حول الأرض.

الجازبية

أول مناقشة علمية لوجود الجاذبية أجراها إسحق نيوتن (١٦٤٢-١٧٢٧)، أحد العبقرات الحقيقية في التاريخ. وكان من حسن الطالع أن يعزل نيوتن نفسه في الريف وهو في العشرينيات من العمر اتقاء للطاعون الليمفاوى الذى اجتاح سكان المدن. والنجاح في أى جيل يتحقق للمرء باتقائه وباء العصر الذى يعيش فيه. ولنيوتن عدة إنجازات منها اختراع حساب التفاضل والتكامل ووضع قوانين الحركة والقانون الكونى

للجاذبية. وأكد رالف والدو إميرسون فى عام ١٨٤١ أهمية هذه القوانين الأساسية بقوله: «الطبيعة مجموعة متألّفة لا نهاية لها وتتكرر فى عدد قليل جدا من القوانين. فهى تترنم بأنغام قديمة معروفة تماما بتنويعات لا حصر لها».

فالجاذبية شد يقع بين شيئين. وهى قوة لا يستطيع البشر أن يعدلوها؛ فلا يمكن زيادتها أو نقصها أو عكسها أو ردها. وقانون الجاذبية يقرر أن أى جسمين يجذب كل منهما الآخر بقوة تتناسب طرديا مع ناتج كتليهما، وتتناسب عكسيا مع مربع المسافة بينهما:

$$\frac{ع \times كتلة ١ \times كتلة ٢}{مسافة \times مسافة} = \text{الجاذبية (ج)}$$

حيث ع = معامل ثابت

وفى الأجسام الكونية، تعتبر كتلة الشد مركزة فى المركز. وعند مناقشة الطاقة الداخلية للأرض رأينا أن الجاذبية أدت إلى تراكم المواد السائلة الغنية بالحديد فى مركز الأرض لتشكل اللب، وبهذا تحررت الحرارة الداخلية وعملت على تكوين التطابق بالكثافة فى الأرض.

وتولّد أنظمة الجاذبية فى الأرض والقمر والشمس بتفاعلها طاقة المد والجزر. ولاستخدام معادلة نيوتون لتقدير آثار جاذبية الشمس والقمر يلزمنا الحصول على معلومات عن الكتل والمسافات. ويبلغ قطر القمر حوالى ٣,٥٠٠ كم (٢,١٦٠ ميلا)، بينما يبلغ متوسط قطر الأرض حوالى ١٢,٨٠٠ كم (٧,٩٢٦ ميلا). ولمقارنتهما، إذا افترضنا أن حجم الأرض يعادل حجم كرة البيسبول، فإن حجم القمر يقل قليلا عن حجم كرة التنس.

وحجم القمر يبلغ حوالى جزءاً من تسع وأربعين جزءاً من حجم الأرض، وأقل تقدير لمتوسط كثافة القمر هو ٣,٢٤ يعنى أن كتلته تبلغ حوالى جزءاً من ثمانية أجزاء لكتلة الأرض. وبالمقارنة، فإن قطر الشمس حوالى ١٣٩٥٠٠٠ كم (٨٦٤٠٠٠ ميل)، ولو أن كثافتها تبلغ جزءاً من أربعة أجزاء للأرض، فإن كتلتها لا تزال تبلغ حوالى

٣٣٢٠٠٠ ضعفا للأرض. وحيث إن قوة شد الجاذبية تتناسب طرديا مع الكتلة، فإن قوة شد الجاذبية لكتلة الشمس تفوق كثيرا قوة شد الجاذبية للقمر. ولكن هذا الشد الجاذبي ينقص بقسمته على المسافة مضروبة فى المسافة، وتبعد الشمس بمقدار ١٥٠ مليون كيلو متر (٩٣ مليون ميل). وعلى هذا، تقل كتلة شد الجاذبية كثيرا بالمسافة عن نظيرتها للقمر الذى يبعد عن الأرض حوالى ٣٦٨٠٠٠ كم (٢٣٩٠٠٠ ميل) فتزيد قوة جاذبيته على الأرض. وتشير الحسابات إلى أن تأثير جاذبية الشمس على الأرض يبلغ فقط ٤٦٪ من قوة جاذبية القمر على الأرض؛ أى أن قوة جذب القمر على الأرض تزيد عن ضعف قوة جذب الشمس عليها.

وللأرض آثار مديّة فريدة لأن: (١) ٧١٪ من سطحها مغطى بالمحيطات، (٢) فترة دورانها أطول من فترات دوران الكواكب الأخرى، (٣) قمرها الكبير نسبيا قريب منها. فانبعاث سطح الماء بفعل الجاذبية الذى نسميه المد يؤثر على اليابسة والماء والهواء ولكنه يتضح جليا فى ارتفاع وانخفاض سطح المحيط. إذ تظهر الشمس فوق الرأس مرة كل ٢٤ ساعة، بينما القمر يستغرق ٢٤ ساعة و٥٢ دقيقة ليعود إلى وضعه فوق الرأس. ولهذا، يظهر القمر متحركا فى السماء بالنسبة للشمس، وبناء على ذلك تتحرك الانبعاثات المديّة نتيجة جاذبية القمر بارتباطها بعلاقة مع الانبعاثات المديّة الناتجة عن الشمس. وتتزامن مجموعتا الانبعاث (القمرية والشمسية) مرتين كل شهر؛ عند القمر الجديد والبدر المكتمل، عندما تتحاذى الشمس مع القمر بالأرض (الشكل ١-١٥). وهذان هما أعلى مدين فى الشهر (ويسميا البعض خطأ بالمد الربيعي). وفى الربعين الأول والثالث للقمر، تكون الشمس والقمر زوايا قائمة مع الأرض، وبهذا يبلغ المد أدناه، وهو ما يسمى بالمد المحاقى.

وتحدث الانبعاثات المديّة المتحركة على سطح الأرض، وفى الغلاف الجوى المتحرك وفى اللب فرملة احتكاكية لدوران الأرض. وبتطبيق قوانين نيوتن للحركة، نرى أنه بينما يتباطأ دوران الأرض والقمر يتباعد الكوكبان فى حركتهما بحيث تطول ساعات الأيام وتقل أيام السنة. وتبتعد الأرض حاليا عن القمر ٣,٨ سم (٥,١ بوصة) كل سنة. وتتجسد الأيام التى تطول فى السجل الحفرى. فمثلا، أوضح الحصر الدقيق لعدد السلاسل فى هياكل المرجان (وتشبه حلقات جذوع الأشجار كثيرا) إضافات

يومية تختلف فى الحجم باختلاف فصول السنة. وتدل الدراسات التى أجريت على مرجان يبلغ عمره حوالى ٣٧٠ مليون سنة أن كل يوم يمر على الأرض فى زمن حياتها كان طوله ٢٢ ساعة تقريبا، وأن السنة كانت مدتها ٤٠٠ يوم.

الارتطام

ومن مصادر الطاقة المهمة الأخرى ما يكمن فى حركة دوران الأرض حول نفسها وحركة دورانها فى مدارها. وتشمل حركة الأرض: (١) الدوران اليومي حول محور يخرق مركزها، (٢) الدوران الشهري لمنظومة الأرض- القمر حول مركز عام للجاذبية يقع على بعد ٤٦٨٠ كم (٢٩٠٠ ميل) من مركز الأرض فى اتجاه القمر، (٣) دوران الأرض السنوى فى مدارها حول الشمس (الشكل ١-١٦). وتقطع الأرض مسافة ٩٥٠ مليون كم (٥٩٠ مليون ميل) فى السنة فى مدارها حول الشمس - بما يزيد عن ١٠٨٠٠٠ كم/ساعة (٦٧٠٠٠ ميل/ساعة). والطاقة الحركية لهذه الحركة المدارية تبلغ $2,7 \times 10^{23}$ جول (*). فإذا دخلت هذه الطاقة الهائلة فى ارتطام مباشر بأحد الكويكبات أو المذنبات المنطلقة فى مداراتها بسرعة ١٥٠٠٠٠ كم/ساعة (٩٣٠٠٠ ميل/ساعة) فستكون الأضرار كارثية وشاملة.

حاشية جانبية: الطاقة والقوة والشغل والقدرة والحرارة

تقاس فاعلية العوامل والأحداث باستخدام المصطلحات المناسبة للطاقة والقوة والشغل والقدرة والحرارة. فالطاقة energy هى القدرة على أداء الشغل work ؛ وقد تكون كامنة أو حركية. فالطاقة الكامنة potential energy مستقرة وجاهزة لأداء العمل. فمثلا، يقع جلمود غير مستقر وحجمه كحجم المنزل عاليا فوق منحدر شديد الانحدار ولديه إمكانية الطرد والارتطام أسفل التل وإحداث كثير من الخسائر (الشكل ١-١٠).

(*) جول joule: وحدة عمل أو طاقة. (المورد - المترجم)

فالطاقة الكامنة PE للجلمود الكبير تعادل كتلته m مضروبة فى قوة الجاذبية g مضروبة فى الارتفاع h فوق مستوى معين، هو ارتفاع قاع الوادى أسفله:

$$PE = m g h$$

الطاقة الكامنة = الكتلة × قوة الجاذبية × الارتفاع

فإذا بدأ الجلمود فى الانحدار أصبحت طاقته الكامنة الآن طاقة حركية - طاقة الحركة (الشكل ١-١٠ ب). وتتقرر الطاقة الحركية Kinetic energy بنصف ناتج الكتلة مضروبة فى مربع السرعة

$$KE = 1 / 2 m v^2$$

الطاقة الحركية = ١/٢ الكتلة × السرعة المنتظمة لحظياً^٢

والطاقة الحركية للجلمود المطرود يضاف إلى شغلها - إذا تسبب طردها وارتطامها فى تحريك جلاميد أخرى وحدث نتيجة لحركة كتلتها سقوط للتربة والأشجار والحطام إلى أسفل التل.

فالشغل الذى يحدث للكتلة المنزلقة يتقرر بالقوة F مضروبة فى المسافة (d) حيث تساوى القوة الكتلة (m) مضروبة فى التسارع (العجلة) a

$$\text{Force (F)} = m a$$

القوة = الكتلة × التسارع (العجلة)

$$\text{Work (w)} = Fd = mad$$

الكتلة × التسارع (العجلة) × المسافة

ويمكن قياس القوة باستخدام وحدة تسمى الداين dyne. وكل داين يساوى كتلة جرام واحد تسارع لمسافة سنتيمتر واحد فى مربع الثانية.

$$\text{dyne} = 1 \text{ gm cm/sec}^2$$

الداين = ١ جرام × ١ سنتيمتر / الثانية^٢

فالطاقة مثل الشغل يمكن التعبير عنها على أنها دايين في سنتيمتر (داين × سنتيمتر). والشغل يعرف بأنه القوة التي تعمل على مسافة وهي في البعد تعادل الطاقة. وقوة دايين واحد تعمل على مسافة سنتيمتر واحد تسمى إيرج

$$\text{erg} = \text{dyne} \times \text{cm} = \text{gm cm}^2 / \text{sec}^2$$

$$\text{إيرج} = \text{داين} \times \text{سم} = \text{جم} \times \text{سم}^2 / \text{ث}^2$$

حيث سم تساوى سنتيمتراً وجم تساوى جراماً و ث تساوى ثانية. والداين وحدة صغيرة للقوة والإيرج وحدة صغيرة للشغل. وعلى هذا، يستخدم الجول joule وهو وحدة قياس أكبر لقياس الظواهر الكبيرة الحجم. والجول يساوى ١٠ مليون إيرج.

$$\text{joule} = 10^7 \text{ erg}$$

$$\text{الجول} = 10^7 \text{ إيرج}$$

والانزلاق الذى يحركه جلمود ضخمة مطرود ربما يتحرك بسرعة (تفوق سرعة جري الإنسان) أو ببطء. وسواء أكان سريعاً أم بطيئاً، فإذا توقفت كمية المادة ذاتها عند قاع المنحدر، كان مقدار الشغل هو بذاته. وعلى أية حال، تختلف القدرة Power. وتعرف القدرة بأنها المعدل الذى يحدث به الشغل ويقاس بالوات.

$$\text{power} = \text{Work} / \text{time} = \text{joule} / \text{second} = \text{watt}$$

$$\text{القدرة} = \text{الشغل} / \text{الزمن} = \text{جول} / \text{ثانية} = \text{وات}$$

وبعد أن يؤدى الجلمود إلى تحريك الانزلاق، فماذا يحدث لإبطائه أو لإيقافه؟ الاحتكاك – الاحتكاك بالتربة التحتية والاحتكاك بالجلاميد الأخرى والرمال والحبيبات والأشجار والركام الآخر داخل الكتلة المتحركة. وكما تعلم من الانزلاق على قاعدة أخرى أو على سطح حلبة الرقص، تتولد حرارة من الاحتكاك. وعلى هذا ترتبط الطاقة الحركية بالحرارة. وتعرف الحرارة بأنها القدرة على رفع حرارة كتلة ما؛ ويعبر عنها بالسرعات الحرارية. وعلاقة الشغل بالحرارة كما يلي:

$$4.185 \text{ joule} = 1 \text{ calorie}$$

$$١٨٥ , ٤ \text{ جول} = ١ \text{ سعر حرارى}$$

حاشية جانبية: الماء - أعجب المواد على سطح الأرض

من السمات الإنسانية المفهومة أن نسمى الأشياء العامة والوفيرة بالعادية، بينما الأمور غير الشائعة والنادرة نعتبرها عجيبة. وأكثر المواد انتشارا على ظهر الأرض هو الماء. فهو جزء من حياتنا اليومية بحيث يسهل اعتباره شيئا عاديا. ولكن هذه النزعة تذهب بنا بعيدا. فالماء بحق مركب كيميائي غير عادى. فإذا لم يكن مادة عجيبة لاختلف كل شئ على الأرض من الطقس إلى الحياة اختلافا جذريا. ولنتذكر بعضا من خصائص هذه المادة الأشد عجبا.

١- فالماء هو المادة الوحيدة على سطح الأرض الذى يوجد بكميات وفيرة فى حالات صلبة وسائلة وغازية.

٢- والماء له أعلى قدرة على الاحتفاظ بالحرارة من كل المواد الصلبة والسائلة فيما عدا الأمونيا (النشادر) السائلة. فالماء يختزن كمية هائلة من الحرارة؛ ودورة الماء فى المحيط تنقل مقادير هائلة من الحرارة.

٣- والماء أعلى قدرة على توصيل الحرارة من جميع السوائل فى درجات حرارة سطح الأرض العادية.

٤- والماء أعلى مادة فى الحرارة الكامنة فى التبخر؛ إذ تحتاج إلى ٥٣٩,٦ سعرا حراريا لتبخير جرام واحد من الماء. وهذه الحرارة الكامنة يحملها بخار الماء إلى الغلاف الجوى ويطلقها عندما يتكثف ويسقط مطرا سائلا. وتنتقل الحرارة إلى الغلاف الجوى عندما تدور الكتل الهوائية.

٥- والماء الخاصية الثانية بعد الأمونيا (النشادر) فى أعلى حرارة كامنة بالاندماج. وعندما يتحول الماء من حالة الصلابة إلى حالة السيولة يفقد ٧٩,٧ سعرا لكل جرام.

٦- والماء ذو جزئى ثنائى الأقطاب. فذرات الأكسجين السلبية وذرات الهيدروجين الإيجابية تتحد سويا لتكون جزيئا له جانب إيجابى وآخر سلبى (الشكل ١-١٤). وهذان القطبان الإيجابى والسلبى يسمحان للماء بالاتحاد سريعا بالأيونات المسجونة.

٧- والماء له أعلى قدرة على العزل الكهربائي المستديم من جميع السوائل. وهذه الخاصية تميل إلى الاحتفاظ بالأيونات بعيدة حتى تمنع اتحادها وبذلك يحافظ على المحلول. وهذا هو السبب في أن الماء يدعى المذيب العالمى.

٨- والماء ذو أعلى التوتر سطحى بين السوائل.

٩- والماء يتمدد بنسبة ٩٪ عندما يتجمد. وهذا سلوك غريب. فالمادة عادة يتقلص حجمها وتزيد كثافتها عندما تبرد. وتبلغ كثافة الماء ذروتها عند درجة الحرارة ٤م (٣٩ ف). وللتصور ماذا يكون عليه حال البحيرات والمحيطات إذا كان الجليد أثقل من الماء السائل وغطس الجليد إلى القاع.

دورة الطاقة والمخاطر البشرية

والأرض جسم غير هادئ وغير مستقر. فالأرض كوكب نشيط نمطى الحركة - وفير الدورات. فهي تدور حول الشمس فى الوقت الذى تدور حول نفسها، والماء يدور فى المحيطات وفى الغلاف الجوى؛ وقيعان المحيطات (القشرة المحيطية) تتشكل وتنتشر وتعيد دورتها إلى باطن الأرض (الشكل ٢-٦)؛ والقارات تنجرف؛ والصهارة ترتفع من باطن الأرض وتتصلب على شكل صخور، ثم تتعرض للتجوية وتتحرك على شكل رواسب عن طريق عوامل التحات (الشكل ١-١٧). وكل هذه الأنماط الحركية سنتناولها بالتفصيل فى الفصول التالية لفهم أكثر هذه الطاقات (الكارثية) فاعلية.

فالأرض يجب النظر إليها على أنها كوكب حركى تتدفق فيه الطاقات العظمى. ونلمس فى حياتنا اليومية كثيرا من التأكيد على تدفق تلك الطاقات؛ فمثلا، يزداد تعرضنا لأشعة الشمس خلال النهار ونلاحظ ارتفاع وانخفاض مستوى الماء فى الانبعاجات المدية على الأرض. وتعتاد الأرض يوميا على القوى المسببة للكوارث مثل الزلازل وثوران البراكين والعواصف والفيضانات والانزلاقات الأرضية، والحرائق وارتطام النيازك والانقراضات. وهذه الأحداث التى تغذيها الطاقة شائعة ولكن مقاييسها تختلف اختلافا بينا باختلاف الزمان والمكان. وما يهمنا هنا هو نبض الطاقة

المركزة، فهو السبب في الكوارث الطبيعية، ولكن كيف تتكرر النبضات الضخمة؟ وعموما هناك علاقة عكسية بين تكرار العملية ومقدارها. فالأحداث المتكررة قليلة المقدار، بما فيها الطاقة المبذولة في كل حدث. وكلما زادت قدرة الحدث قلت مرات تكراره (الشكل ١-١٨).

وهناك طريقة أخرى للنظر إلى مدى تكرار الأحداث الكبيرة بالفعل بمقارنة قدرتها بفترات تكرارها، أي بعدد السنين التي تمر بين حدثين من نفس الحجم (الشكل ١-١٩). وعموما كلما كبر حجم الحدث وزادت طاقته، طالت فترة تكراره - فالأكبر أندر.

هلاك الإنسان

ما مدى تكرار الأحداث الكبرى؟ أُجْرِيَ تقدير برصد عدد الوفيات البشرية مقابل نمط الكارثة ومساحتها الجغرافية. (الجدول ١-٥). والأرقام المعروضة تحفظية تماما وأقل بالفعل من عدد الوفيات الحقيقية، ولكن أنماطها تظل قابلة للتقدير. لاحظ أن أكبر المهلكات في العالم خلال فترة طولها ٣٤ عاما كانت الأعاصير الرعدية البرقية الممطرة (هوريكن) والزلازل. وتضاعف عدد الوفيات الناجمة عن أحداث تغذيها الشمس عن الكوارث الناجمة عن الطاقة الداخلية للأرض.

وهناك طريقة أخرى لتقدير الكوارث الطبيعية هي التركيز على الأحداث الكارثية الكبيرة. وسجلت شركة النهضة السويسرية عدد ٤٠ كارثة قتل فيها عدد كبير من الناس بين عامي ١٩٧٠ و ١٩٩٩ (الجدول ١-٦). لاحظ أن ٣٧ كارثة من عدد ٤٠ كارثة كانت طبيعية. وأكثر الكوارث تكرارا وقتلا على نطاق واسع كانت الزلازل (٢٠ من ٤٠) ثم الهوريكن (٩ من ٤٠). وعلى أية حال، قتلت ٩ عواصف أكثر من ٤٩٧٣٤٤ نسمة؛ بينما قتل ٢٠ زلزالا ٥٥١٠٤٣ نسمة. ولاحظ أيضا أن ٢١ من ٤٠ من أسوأ الكوارث حدثت في حزام يمر ببنجلاديش والهند وإيران حتى تركيا. وحدثت كارثة واحدة قاتلة على نطاق واسع في غربى أوروبا ولم يحدث منها شيء في الولايات المتحدة وكندا.

والعلاقة بين كثافة التعداد السكاني وعدد الوفيات علاقة مدهشة حيث إن آسيا والشرق الأوسط يتصدران القائمة بما يزيد عن ٨٥٪ من الوفيات. والخبرة من آسيا والشرق الأوسط تطرح وجهة نظر واقعية لما يمكن أن يحدث للتعداد السكاني في الكرة الأرضية إذا استمر تسارع النمو السكاني. فحيثما يتركز البشر تحصد الكوارث كثيرا من الأرواح.

وتصرع الكوارث كثيرا من الناس، ولكن ما هو تأثيرها على الأحياء؟ وأحد هذه الآثار هو زيادة معدلات الانتحار. إذ أسفرت إحدى الدراسات عن معدلات الانتحار بين حوالي ٢٠ مليون نسمة من ٣٧٧ محافظة في الولايات المتحدة في أعقاب كوارث طبيعية عن زيادة قدرها ٨,٨٪ في السنوات الأربع اللاحقة لأحد الفيضانات، وزيادة قدرها ٣١٪ في السنتين التاليتين لأحد أعاصير الهوريكين، وزيادة قدرها ٩,٦٢٪ في السنة الأولى بعد عام واحد من أحد الزلازل. وزاد معدل الانتحار في كل الولايات المتحدة إلى أقل من ٣,١٪ في أثناء تلك الفترات الزمنية.

خسائر التأمين

والنظرة إلى الكوارث بعيون شركات التأمين وخسائرها من الدولارات تعطينا قائمة مختلفة جدا عن الكوارث التي حدثت في الفترة ما بين ١٩٧٠ و ١٩٩٩ (الجدول ١-٧). لاحظ أن ٣٨ من ٤٠ من أعظم الكوارث تكلفة كانت بسبب القوى الطبيعية. وتسود العواصف قائمة أكثر الأحداث خسائر (٢٧ من ٤٠)، بينما أضافت الزلازل أربعا منها فقط. وتعرض أوضاع أسوأ لخسائر بالدولار للكوارث بالنسبة لصناعة التأمين (الجدول ١-٧) صورة مختلفة تماما عن قائمة أسوأ الأوضاع بالنسبة للوفيات. وأعظم الخسائر التأمينية بالدولار حدثت في الولايات المتحدة (٢٣ من ٤٠) وفي أوروبا (٩) وفي اليابان (٤). أما الدول الغنية فتأمينها أفضل وسكانها يعيشون في مبان آمنة.

نظرية الهيولية

تلقى النهضة الجديدة بنظرية الهيولية نظرة أخرى على الكوارث الطبيعية. فالمعادلات الرياضية التي تصف عمليات الأرض يزداد فهمها على أنها غير متوقعة أو عشوائية. وربما يؤدي تغيير مبدئي صغير إلى سلسلة من التغيرات الكبرى. فمثلا، لم يعد الخبراء ينظرون إلى تغير المناخ على أنه نظام يتغير تدريجيا، بل على أنه نظام يتغير في جولات كبرى. وهناك قصة شائعة تشرح الهيولية، حيث إن فراشة تخفق بجناحيها في الهواء في بيينج ربما تحدث سلسلة من التغيرات تؤدي إلى حدوث عاصفة رعدية في سان فرانسيسكو بعد أسبوعين. وتغيير الإنسان للأرض أكبر من مثيله الصادر عن الفراشة والنتائج المترتبة على أعمالنا ربما كانت في مجموعها غير متوقعة، تحدث أحداثا ما يحتمل أن يدعى بالكوارث الطبيعية.

موجز

تحدث الكوارث أينما أطلقت الأرض طاقتها المركزة. وأهم مصادر للطاقة هي: (١) باطن الأرض الذي يطلق حرارته المتولدة بالخمود المستمر للعناصر النشطة الإشعاع بعملية الانصهار النووي. (٢) الشمس، حيث إن الاندماج النووي طاقة إشعاعية يستقبلها سطح الأرض وتزيد ٥٣٠٠ مرة عن الطاقة المنبعثة من باطنها. (٣) شد الجاذبية داخل الأرض الذي يساعد على تدفئة الباطن، بينما يولد الشد بين الأرض والقمر والشمس طاقة المد والجزر. (٤) الارتطام بالكويكبات والمذنبات التي ساعدت على رفع درجة حرارة الأرض في عهودها الغابرة.

وأدت المقادير الهائلة من الحرارة الداخلية في الأرض منذ بدايتها إلى الإذابة الشاملة. وتقوم العناصر المشعة التي ساعدت على رفع درجة حرارة باطن الأرض عند خمودها بهذا العمل وفقا لمعدلات قابلة للقياس تعرف بأنصاف الأعمار. فالعناصر المشعة التي تخدم تعمل كساعات تستخدم لتقدير تاريخ الأحداث في عمر الأرض. فالأرض عمرها ٤,٥٧ بليون سنة.

ويستخدم حوالى ربع طاقة الشمس التى تصل إلى الأرض فى تبخير الماء لكى تبدأ الدورة المائية. وتحت تأثير الجاذبية يسقط الثلج والمطر عائداً إلى الأرض ثم يجرى فى مجار على شكل مثالج وأنهار ومياه جوفية حتى يعود الماء ثانية إلى المحيط لتكتمل الدورة. وعندما يتحرك الجليد والماء والهواء تعمل كعوامل للتعرية (التحات) التى تبرى الأرض وتكدس حطامها فى قيعان المحيطات.

ولتدفق الطاقة على الأرض فى اليابسة والمحيط والغلاف الجوى آثار مهمة على الإنسان. وأعظم المهلكات للإنسان فى القرن العشرين هى الأعاصير الهوريكين والزلازل، وتزيد معدلات الوفيات فى آسيا والشرق الأوسط. وكلما كبر مقدار الحدث قلت مرات تكراره.

مصطلحات للمذاكرة

asteroid	كويكب
atmosphere	الغلاف الجوى
B. C. E.	قبل الزمن الحالى
centigrade	مئوية
comet	مذنب
curie	وحدة قياس النشاط الإشعاعى
conduction	توصيل
continent	قارة
convection	الحمل الحرارى
core	لب/ قلب
crust	قشرة
dielectric constant	معامل إزاحة كهربائية
earthquake	زلازل
element	عنصر

energy	طاقة
erosion	نحت/ تحات/ تعرية
Fahrenheit	فهرنهايت
force	قوة
forces of construction	قوى البناء
forces of destruction	قوى الهدم
frequency	تكرار
glacier	مثلجة - مجلدة
gravity	جاذبية
half-life	عمر النصف
heat	حرارة
hydrologic cycle	الدورة المائية
igneous rocks	صخور نارية
ion	أيون
isotope	أحد النظائر
kinetic energy	طاقة حركية
latent heat of fusion	الحرارة الكامنة فى الاندماج
latent heat of vaporization	الحرارة الكامنة فى التبخر
magma	صهارة
magnitude	مقدار/ قدرة
mantle	الوشاح
meteorite	النيزك
nuclear fission	انشطار نووى
nuclear fusion	اندماج نووى
potential energy	الطاقة المرتقبة
power	القدرة

radioactive	ذو نشاط إشعاعي
return period	فترة الترقب
sediment	راسب
surface tension	توتر سطحي
volcano	بركان
work	الشغل

أسئلة للمراجعة

- ١ - ما مصادر الطاقة الرافعة لحرارة باطن الأرض في الأزمنة الأولى؟
- ٢ - ما مقدار الطاقة الواردة إلى سطح الأرض والمتدفقة إليها من الداخل بمقارنتها بالساقطة عليها من الشمس؟
- ٣ - كيف يختلف الاندماج النووي عن الانشطار النووي؟
- ٤ - اشرح كيف تعمل دورة الماء الهيدرولوجية ؟ وما دور كل من الشمس والجاذبية؟
- ٥ - اشرح آثار كل من «قوى البناء الداخلية» مقابل «قوى التدمير الخارجية» على سطح الأرض.
- ٦ - ما عمر الأرض؟ كيف تقرر ذلك؟
- ٧ - بعد تجمد بلورات الزركون من صخر ناري، كيف تستطيع أن تقرر متى تكون الصخر (تصلب)؟
- ٨ - أين وجدت أقدم صخور الأرض المعروفة؟ وما عمرها؟
- ٩ - لماذا يكون لقمرنا الصغير نسبياً أثر للجاذبية أكبر من أثر الشمس العملاقة؟

١٠- ما هي سرعة دوران الأرض في مدارها حول الشمس؟

١١- ما هي الخواص التي تجعل الماء عجيبا جدا؟

١٢- ما هي الكوارث الطبيعية التي أهلكت أكبر عدد من الناس في القرن العشرين؟ في أي مكان من العالم أحدثت الكوارث الطبيعية أكبر قدر من الوفيات؟ في أي مكان من العالم حدثت أكبر خسائر للتأمينات من الكوارث الطبيعية؟

١٣- ما هي العلاقة بين مقدار كارثة ما ومعدل تكرار حدوثها؟

أسئلة لمزيد من التأمل

١ - هل يمكن أن نسمى زلزالا كبيرا أو ثورة بركان عظيم كارثة طبيعية إذا لم تحدث خسائر في أرواح البشر أو دمار في المباني؟

٢ - هل يحتمل أن تقفز المفاعلات النووية الطبيعية الجديدة إلى مسرح الأحداث على الأرض؟

٣ - ماذا يكون عمرك بالنسبة المئوية للزمن الجيولوجي؟

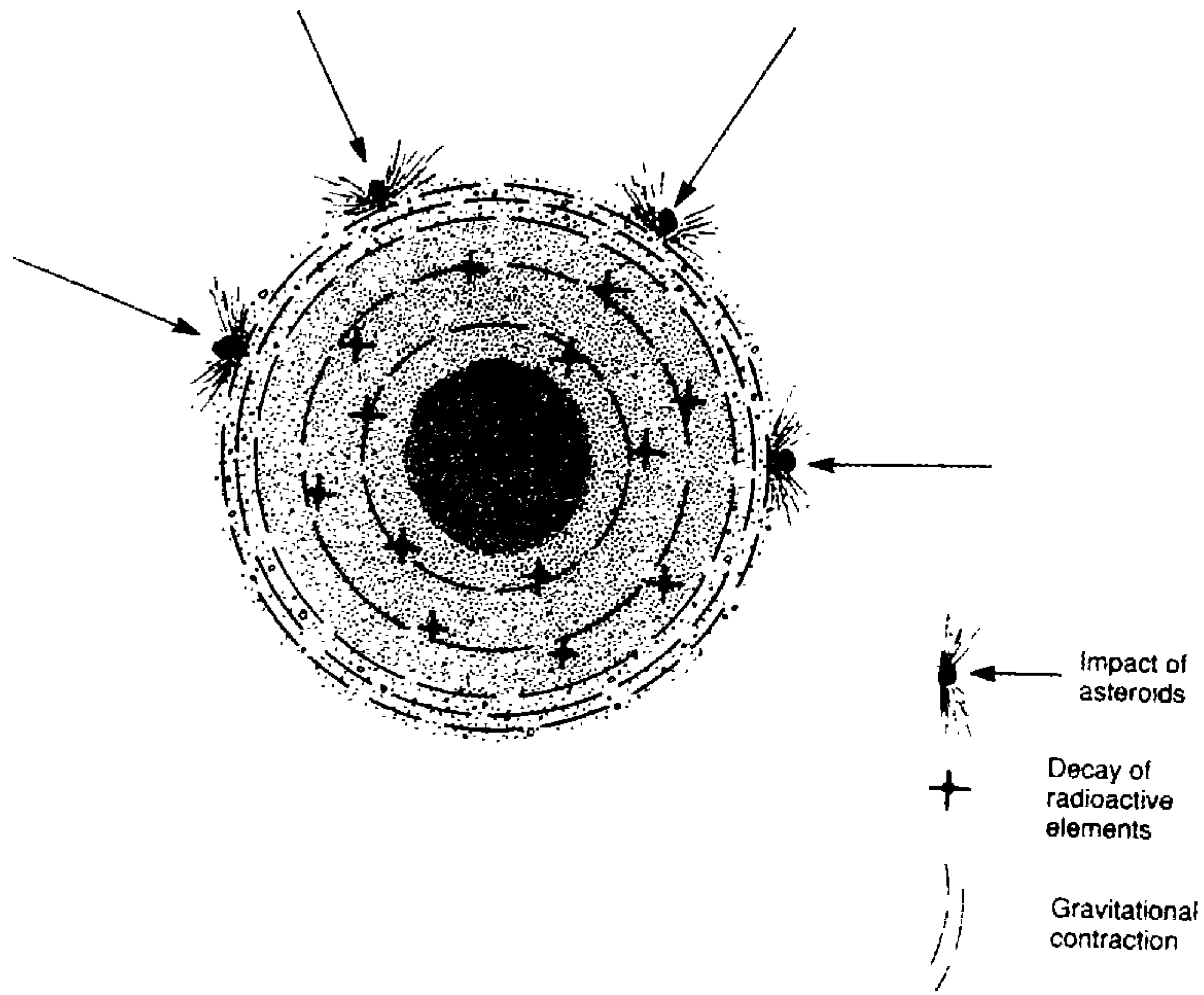
٤ - إذا توقف تدفق الحرارة من باطن الأرض، فماذا يحدث لليابسة؟ وبعد أن يتوقف تدفق الحرارة الداخلية لمدة ١٠٠ مليون سنة، فماذا يكون مظهر الأرض لزائر المستقبل من الفضاء؟

٥ - متى تصبح تصميمات المباني على سطح الأرض محصنة ضد الكوارث ويتناقص العدد الكبير من الوفيات؟

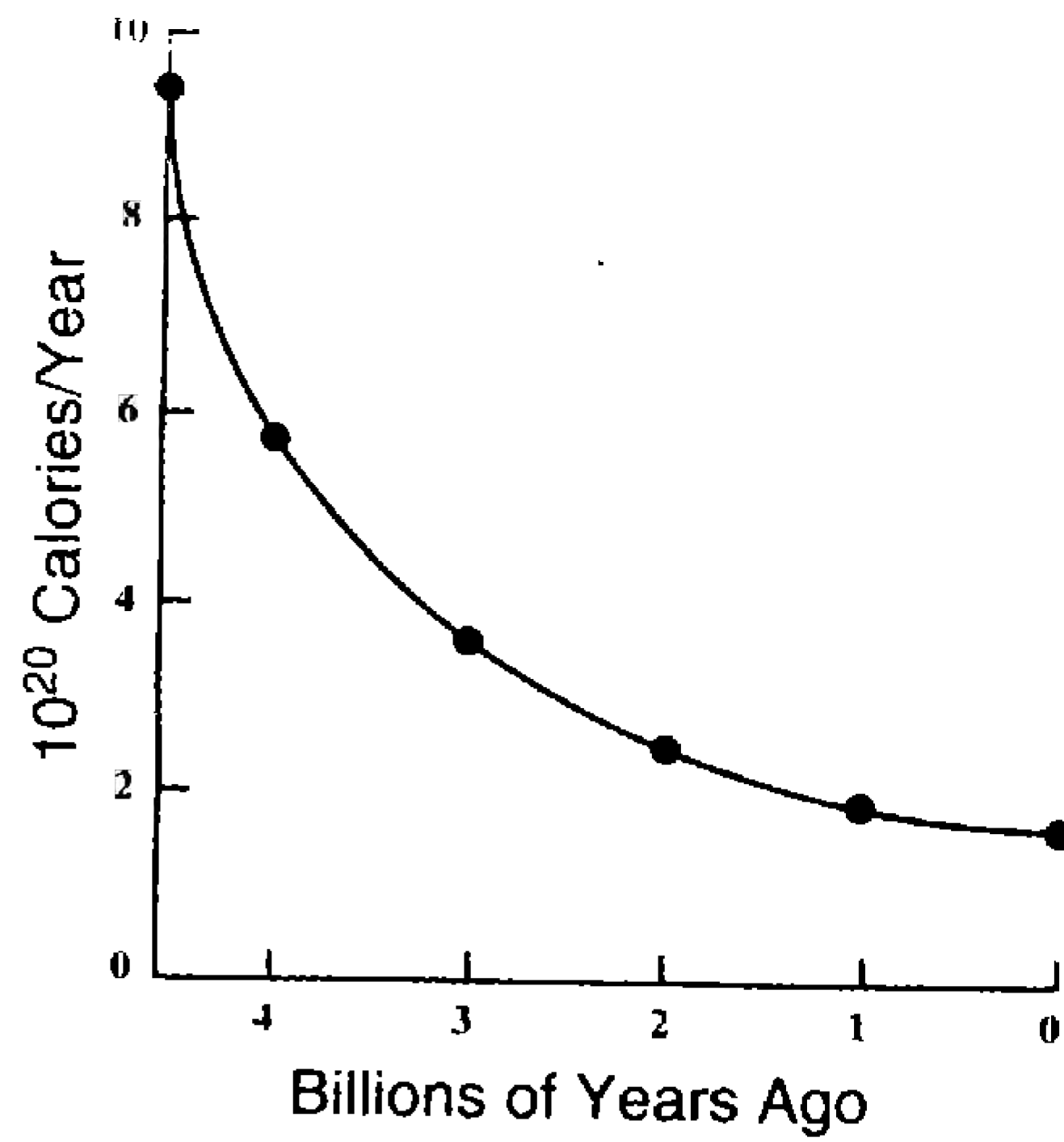
أشكال الفصل الأول



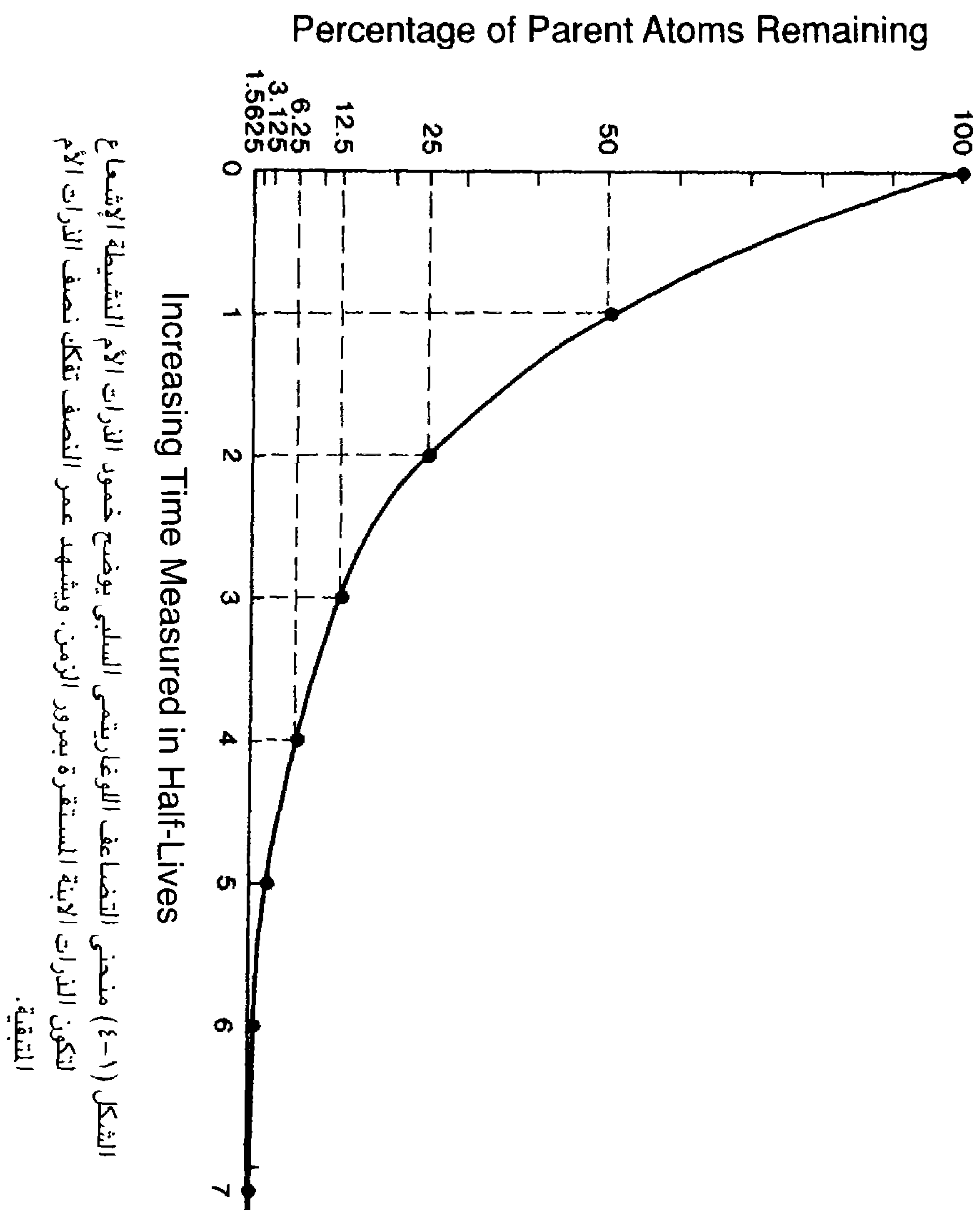
الشكل (١-١) نظرية أصل المجموعة الشمسية. (أ و ب) مبدئياً، سحابة كروية دوّارة ضخمة تتكون من الجليد والغاز والحطام. (ج) تنقلص الكتلة الدوّارة على شكل قرص منبسط يتركز معظم كتلته في المركز. (د و هـ) تتكون الكواكب على شكل كتل تصادم ويلتصق بعضها ببعض. (و) تحاط الشمس الملتهبة بالكواكب. وتأتي الأرض ثالثة الكواكب بعداً عن الشمس.

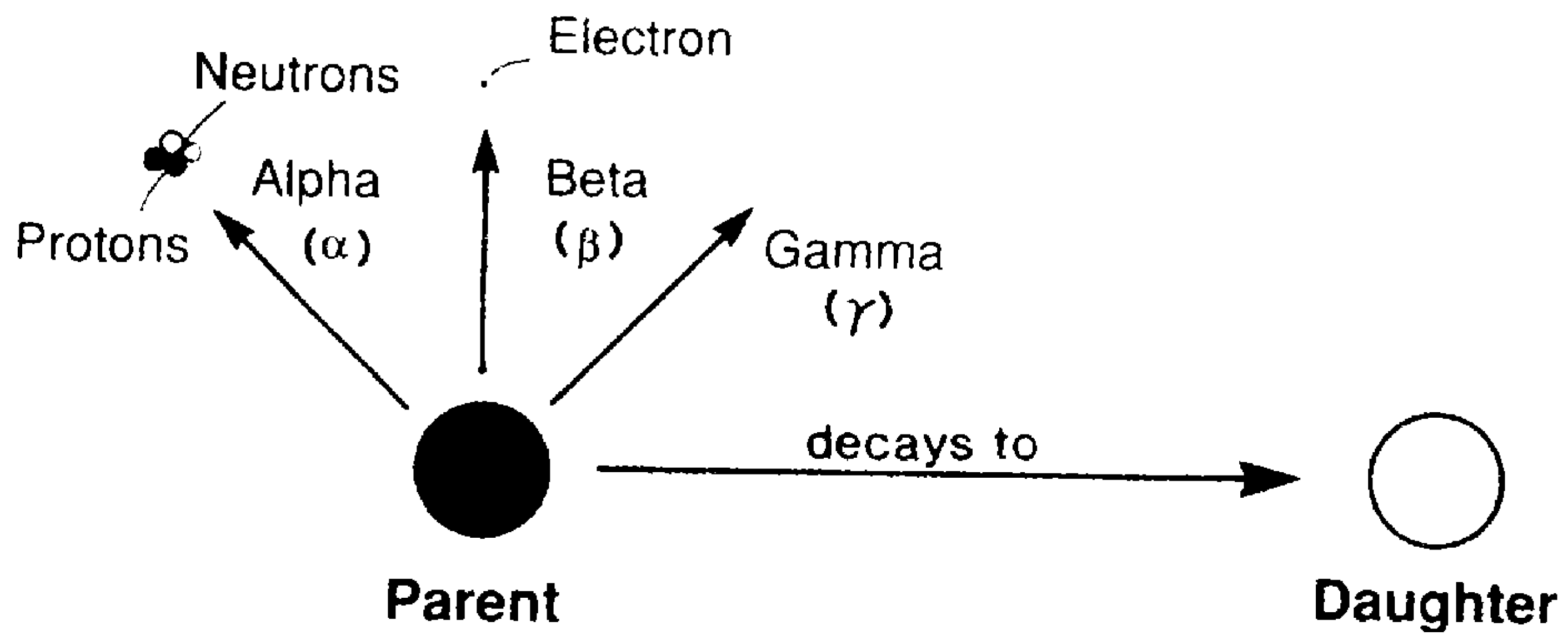


الشكل (١-٢) عمليات توليد الحرارة أثناء سنوات تكوين الأرض وتشمل: (١) ارتطام الكويكبات: (٢) خمود العناصر النشطة الإشعاع: (٣) سحب الجاذبية.

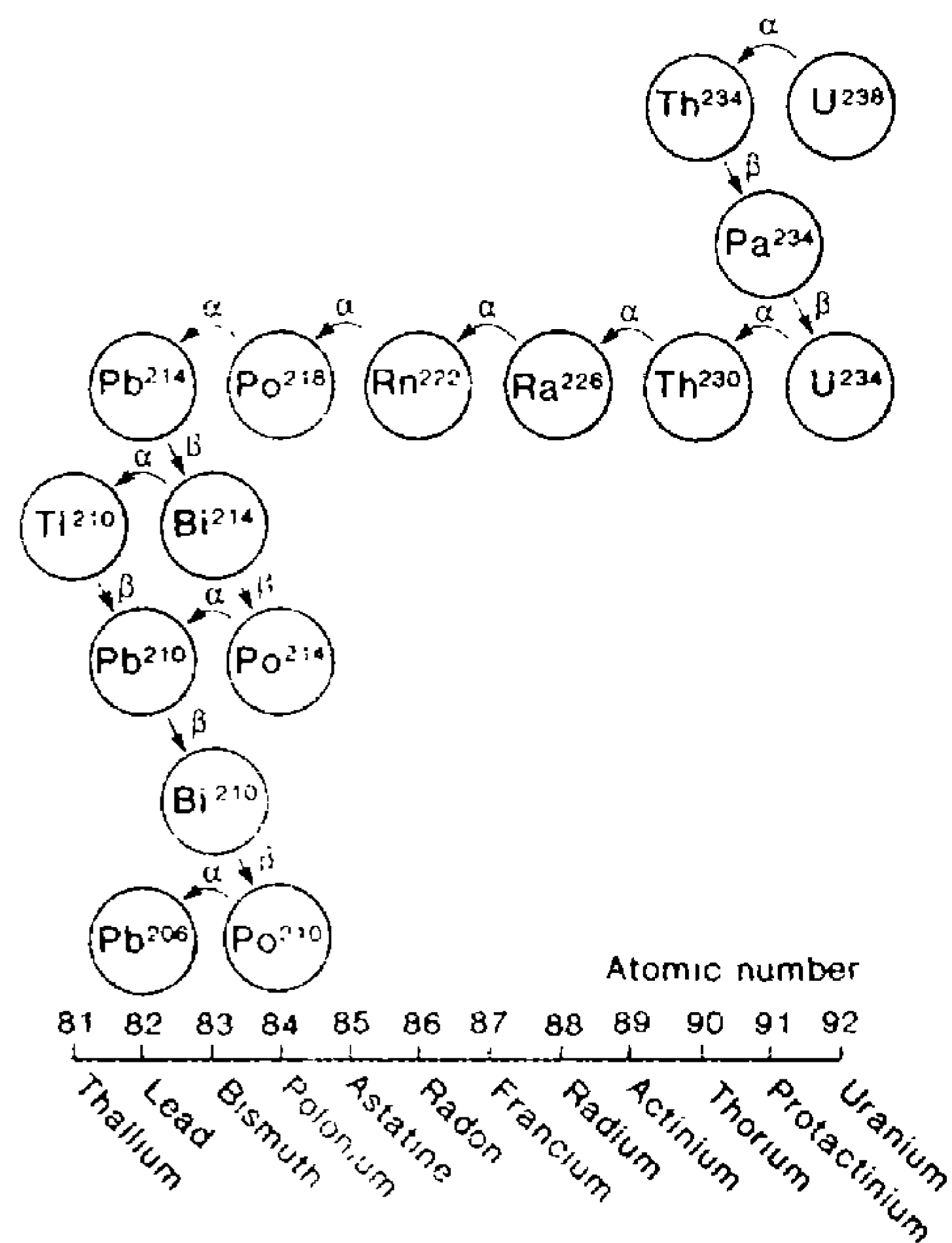


الشكل (١-٣) معدل إنتاج الحرارة من خمود الذرات النشطة الإشعاع تناقص على مدى تاريخ الأرض.

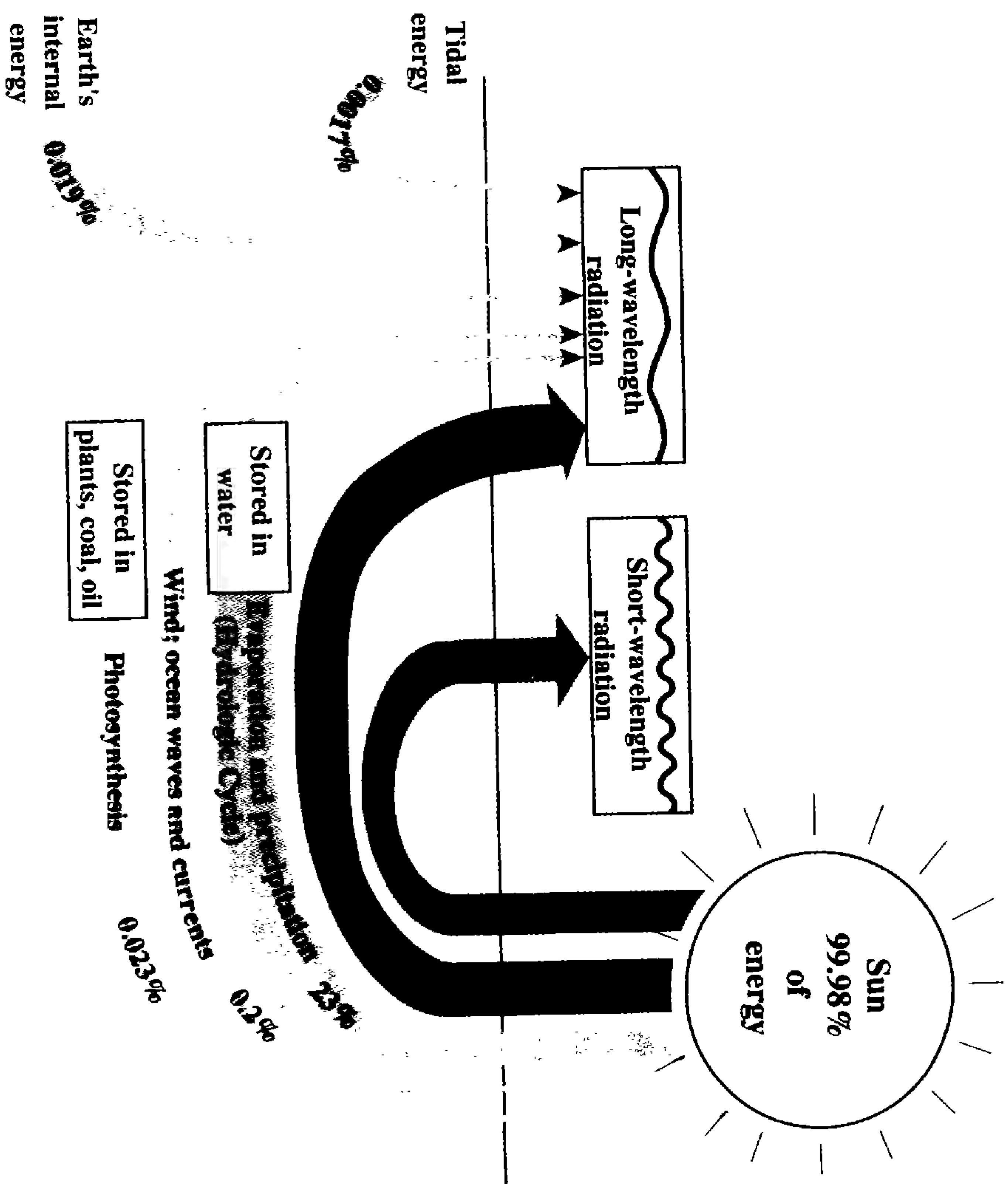




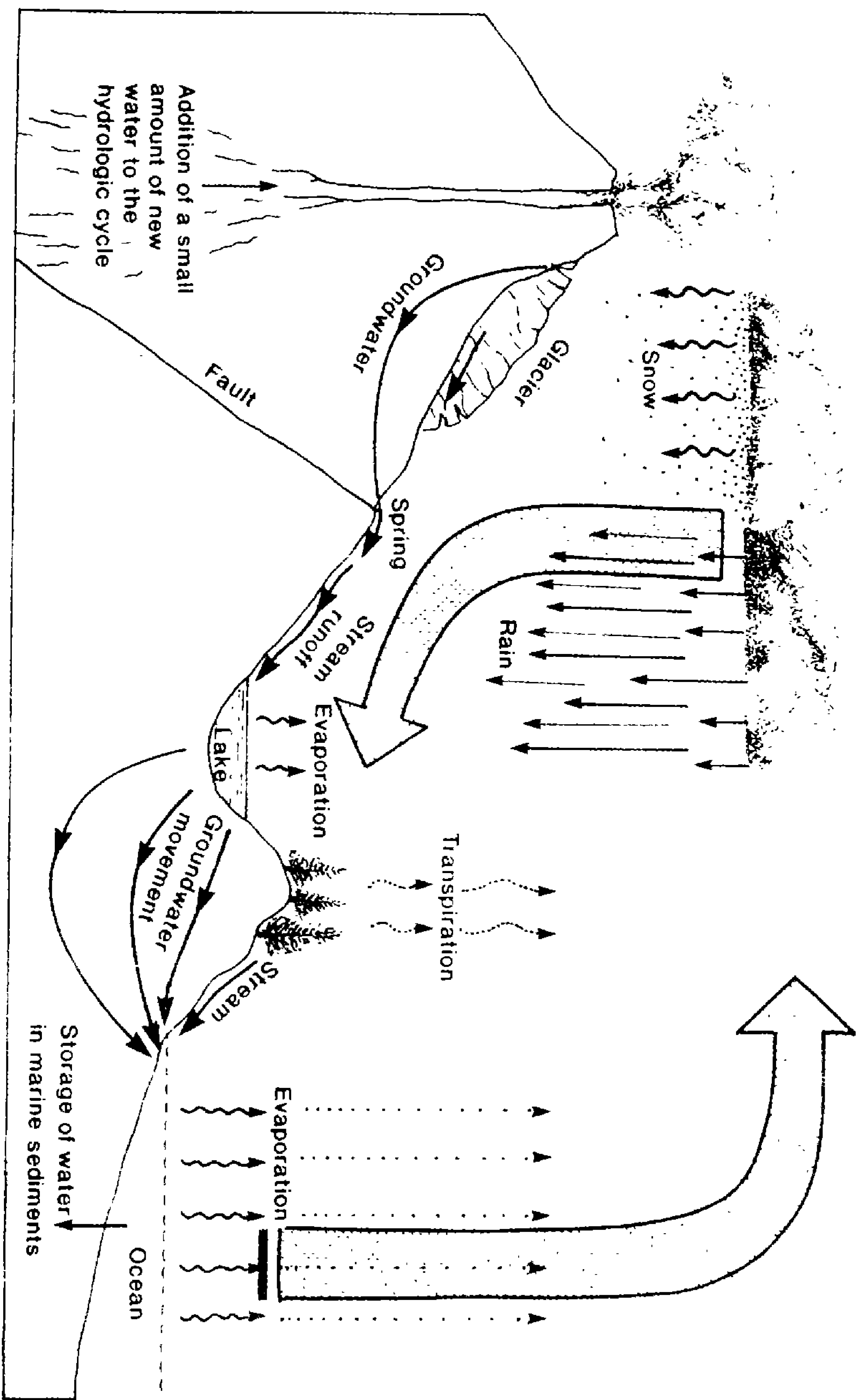
الشكل (١-٥) تخدم النواة الأم النشيطة الإشعاع لتصبح نواة ابنة أصغر ببث جسيمات ألفا (مثل نواة ذرة الهيليوم: أي بروتونين ونيوترونين)، وجسيمات بيتا (إلكترونات)، وإشعاع جاما (مثل أشعة إكس).



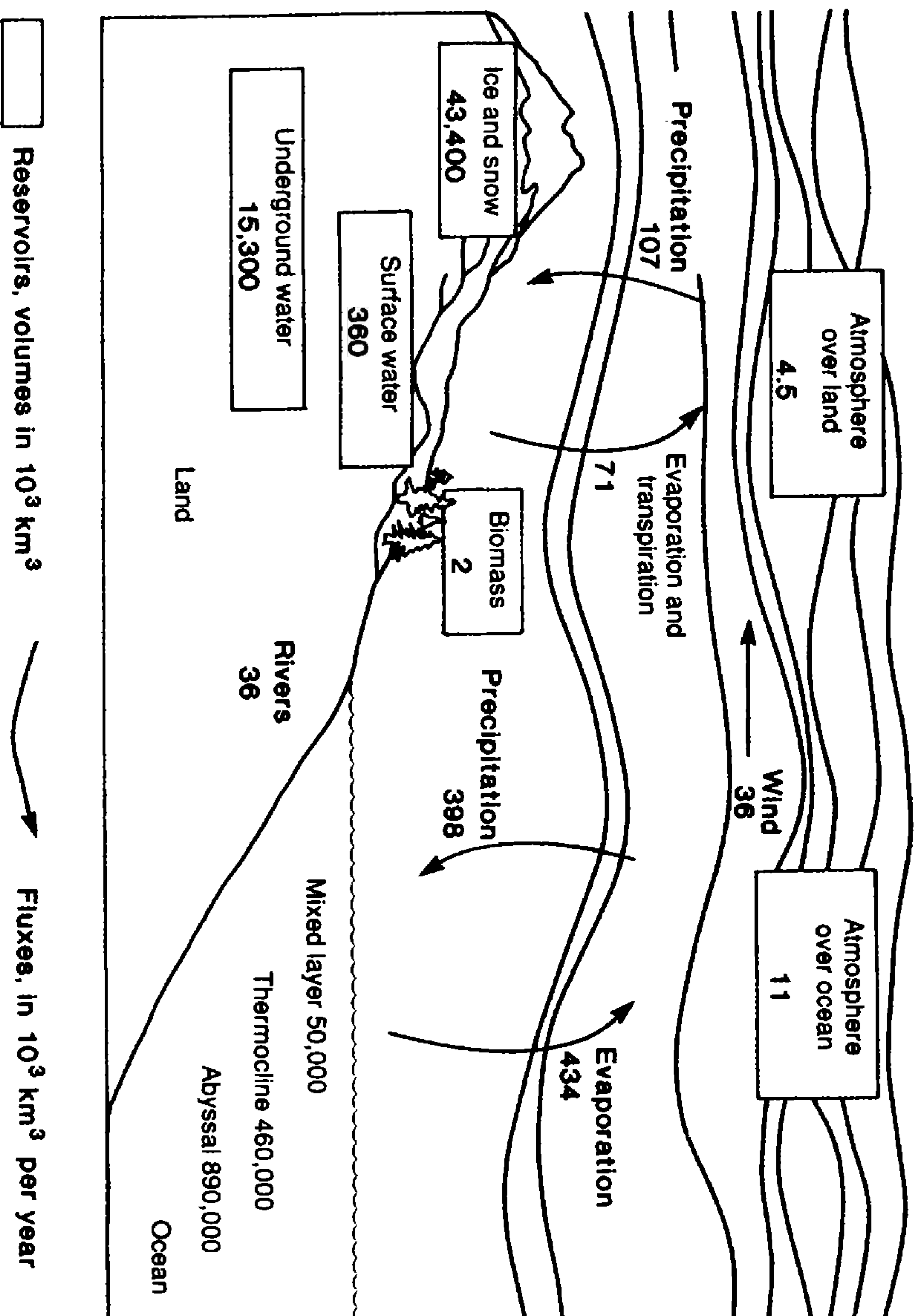
الشكل (١-٦) خمود اليورانيوم ٢٣٨ المشع إلى رصاص ٢٠٦ مستقر خلال مراحل عديدة للذرات المتوسطة الإشعاع. الرقم الذري هو عدد البروتونات (الجسيمات الموجبة الشحنة) في النواة.



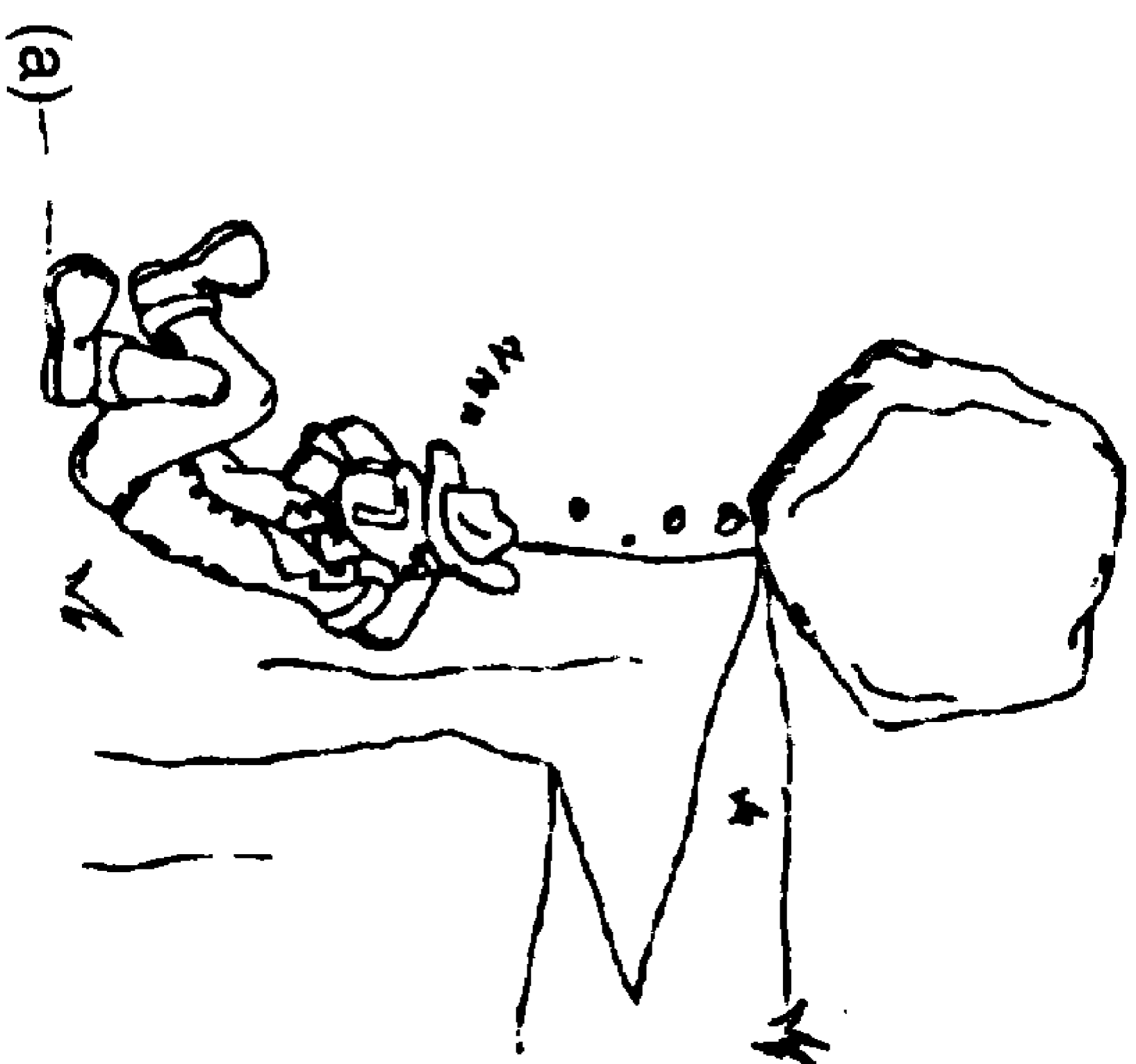
الشكل (٧-١) تدفق الطاقة على الأرض من الشمس والد (الجاذبية) وباطن الأرض.



الشكل (٨-١) الدورة المائية. ترفع الشمس الماء إلى الغلاف الجوي بالتبخر وتنفذ النباتات. ويتكثف الماء في الغلاف الجوي ويسقط بتأثير سحب الجاذبية. ثم يتدفق الماء على شكل مثلجات (مجلدات) وأنهار ومياه جوفية حتى يعود إلى البحر.



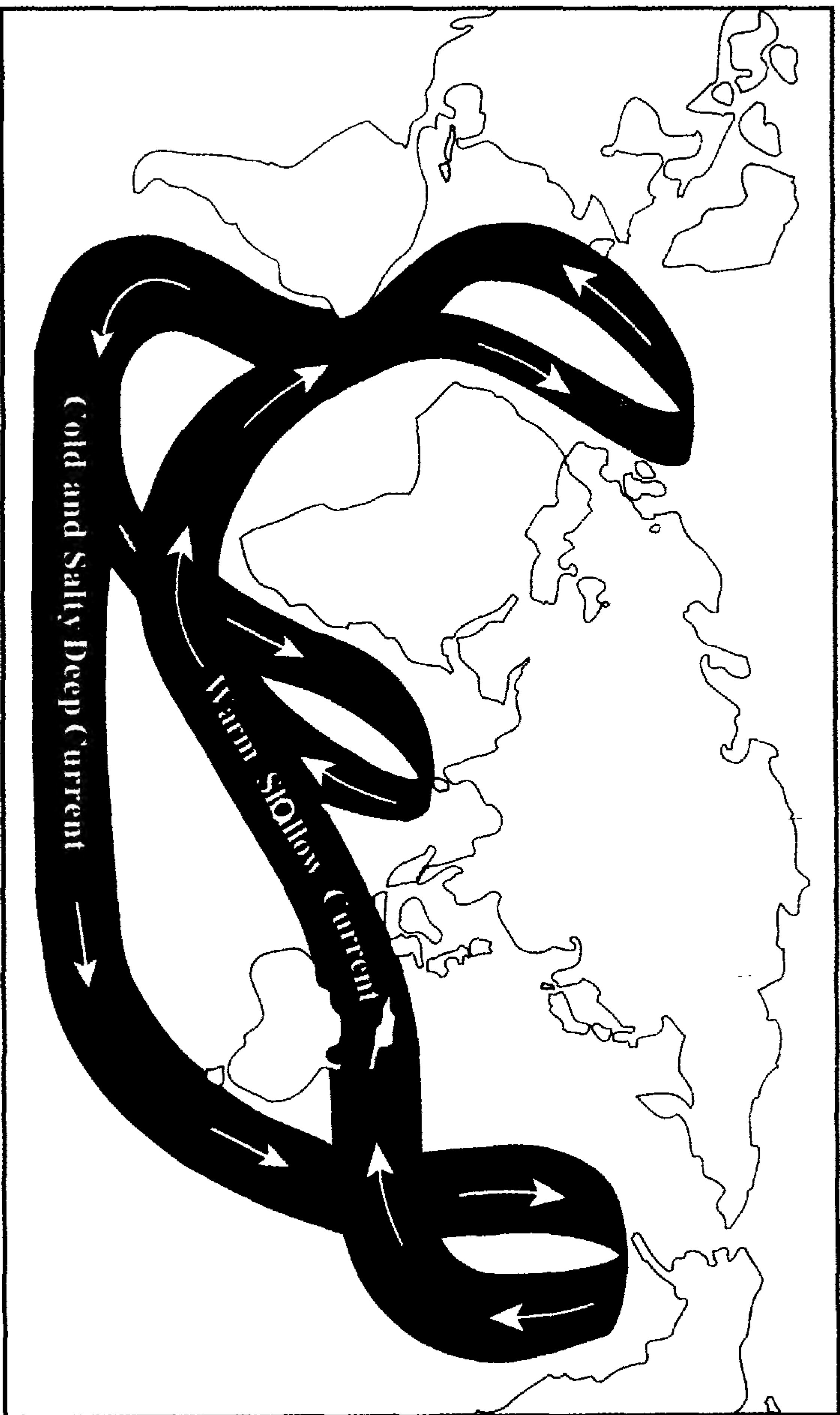
الشكل (٩-١) الماء يتحرك في الدورة المائية على نطاق عالمي.



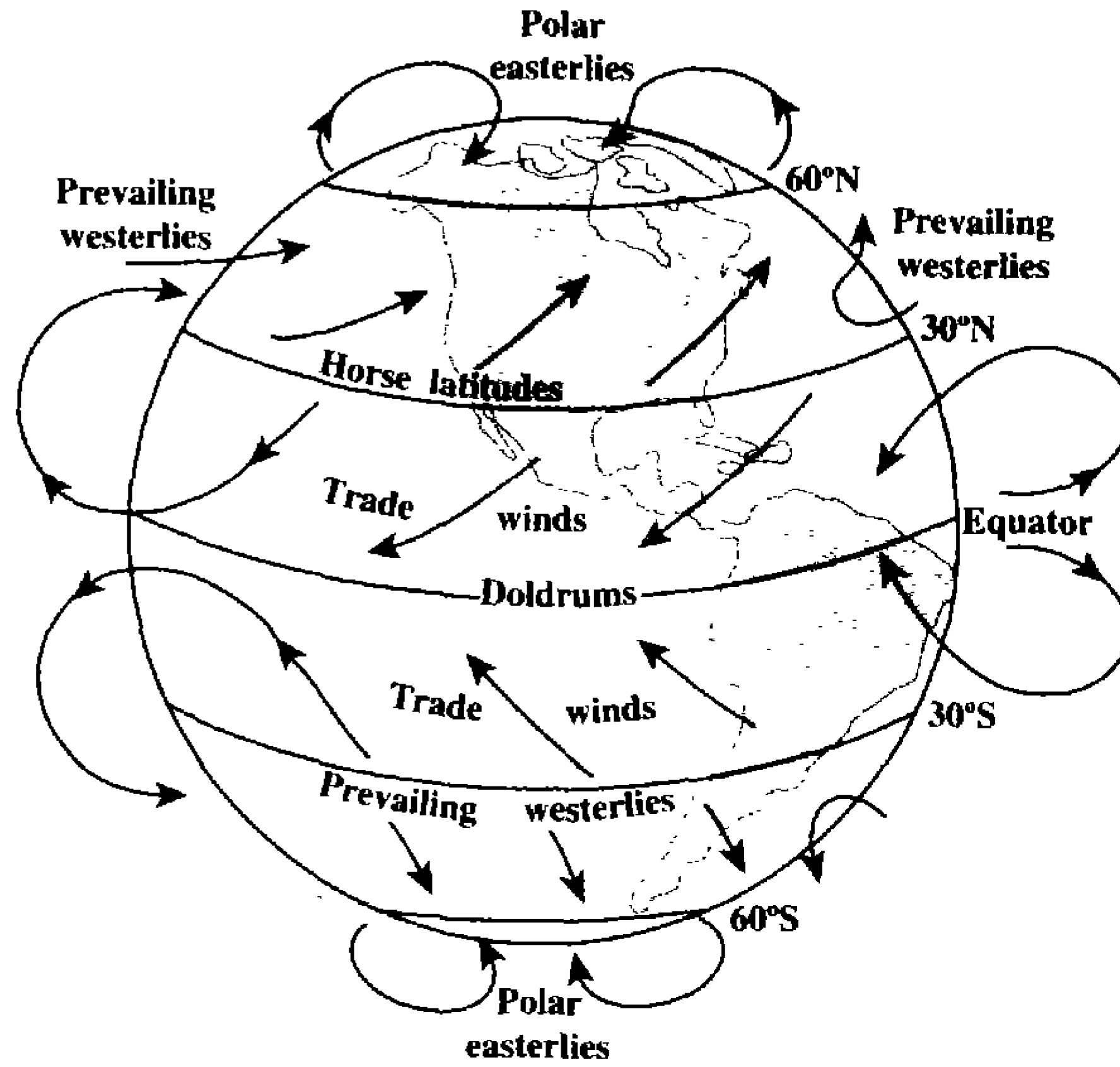
الشكل (١٠-١) (أ) عندما يستعد الجلود المتوازن للحركة، تكون فيه طاقة كاملة. (ب) وعندما يتدحرج الجلود تكون طاقته حركية.



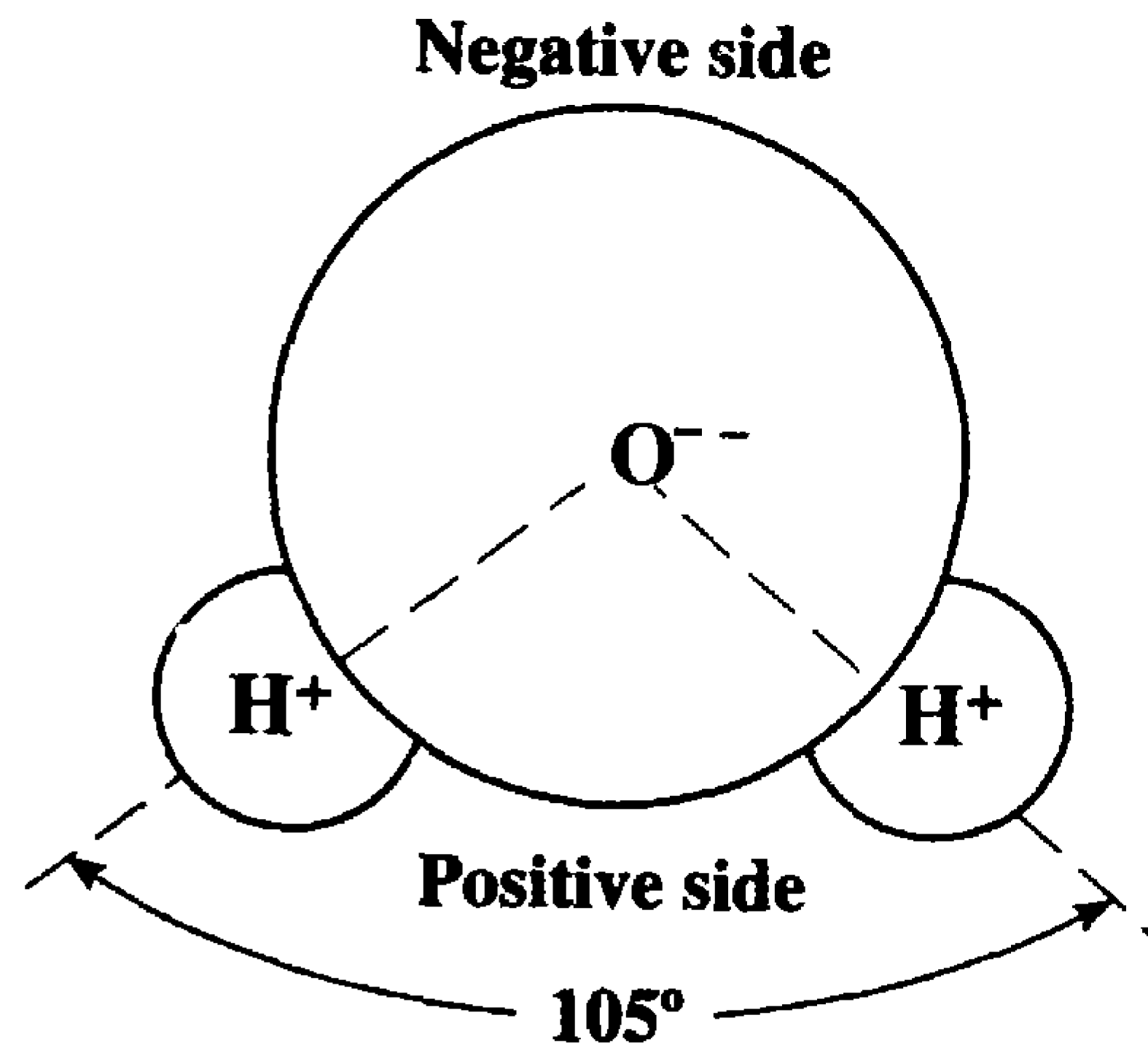
الشكل (١-١١) منظر ملتقط بالأقمار الصناعية يوضح الغلاف الجوي والمحيط؛ كتلتين سائلتين في حركة دائبة تنقل الطاقة حول الأرض.



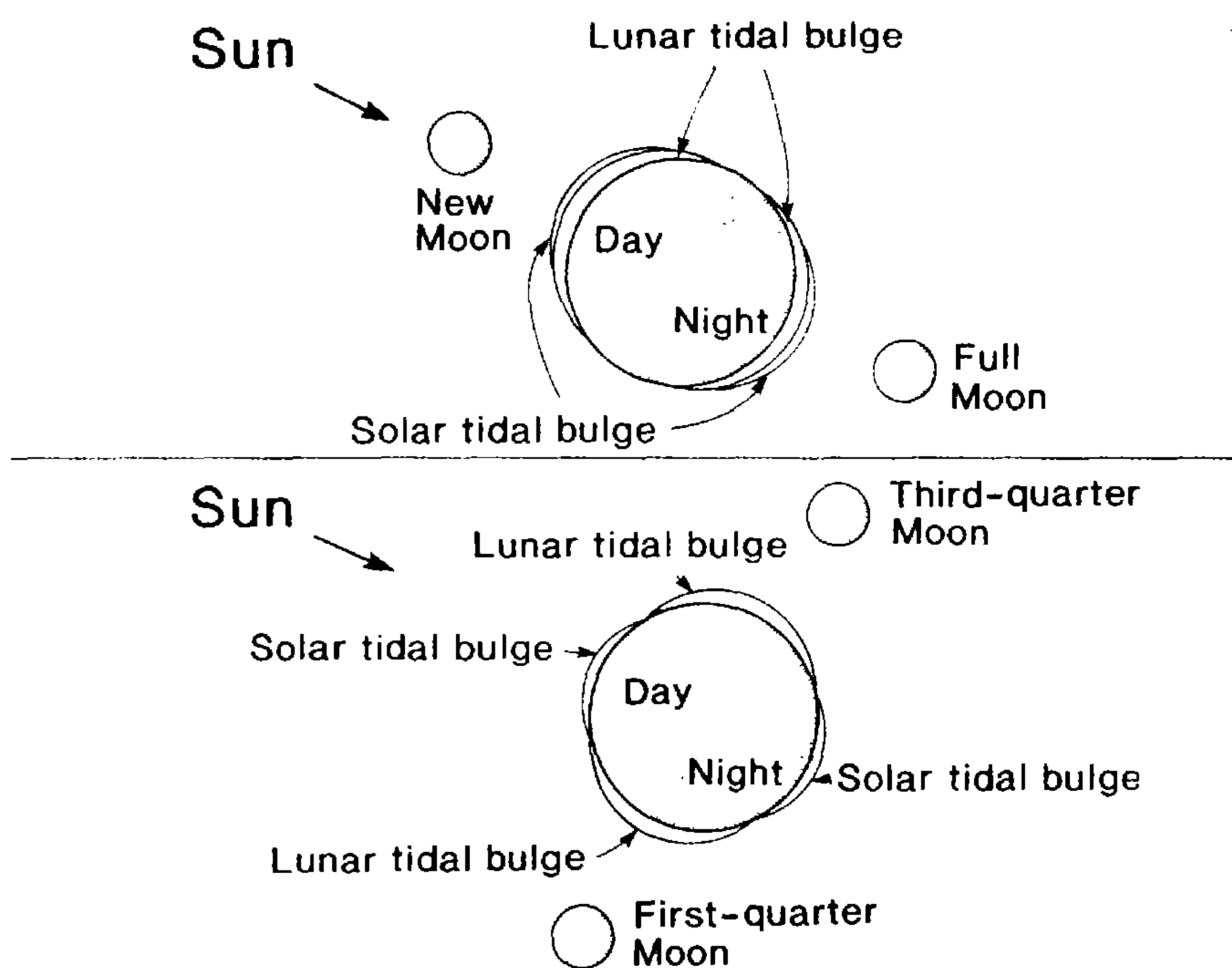
الشكل (١٢-١) يحمل نظام دورة المحيط الماء الدافئ الضحل إلى شمالي المحيط الأطلنطي، وبهذا يحافظ على بقاء درجة حرارة أوروبا بين ٥ حتى ١٠م. ويؤدي التبريد في المنطقة القطبية إلى زيادة كثافة ماء المحيط فيغسل ويتدفق في الأعماق إلى الجنوب خارجا من المحيط الأطلنطي. وهذا التدفق المحيطي يعادل تدفق أنهار الأمازون ١٠٠ مرة.



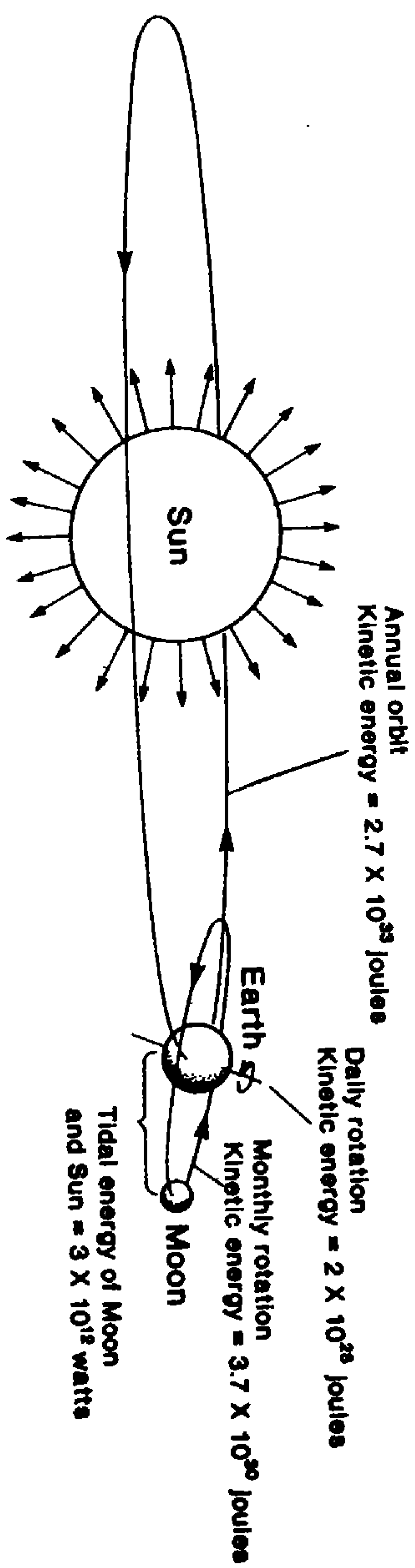
الشكل (١٣-١) نظام كبير لدورة الغلاف الجوى. يرتفع الماء الدافئ فوق خط الاستواء ثم يتحرك نحو القطبين. ويتدفق الهواء البارد حول القطبين نحو خط الاستواء. وتتأثر جميع تحركات الكتل الهوائية بدوران الأرض.



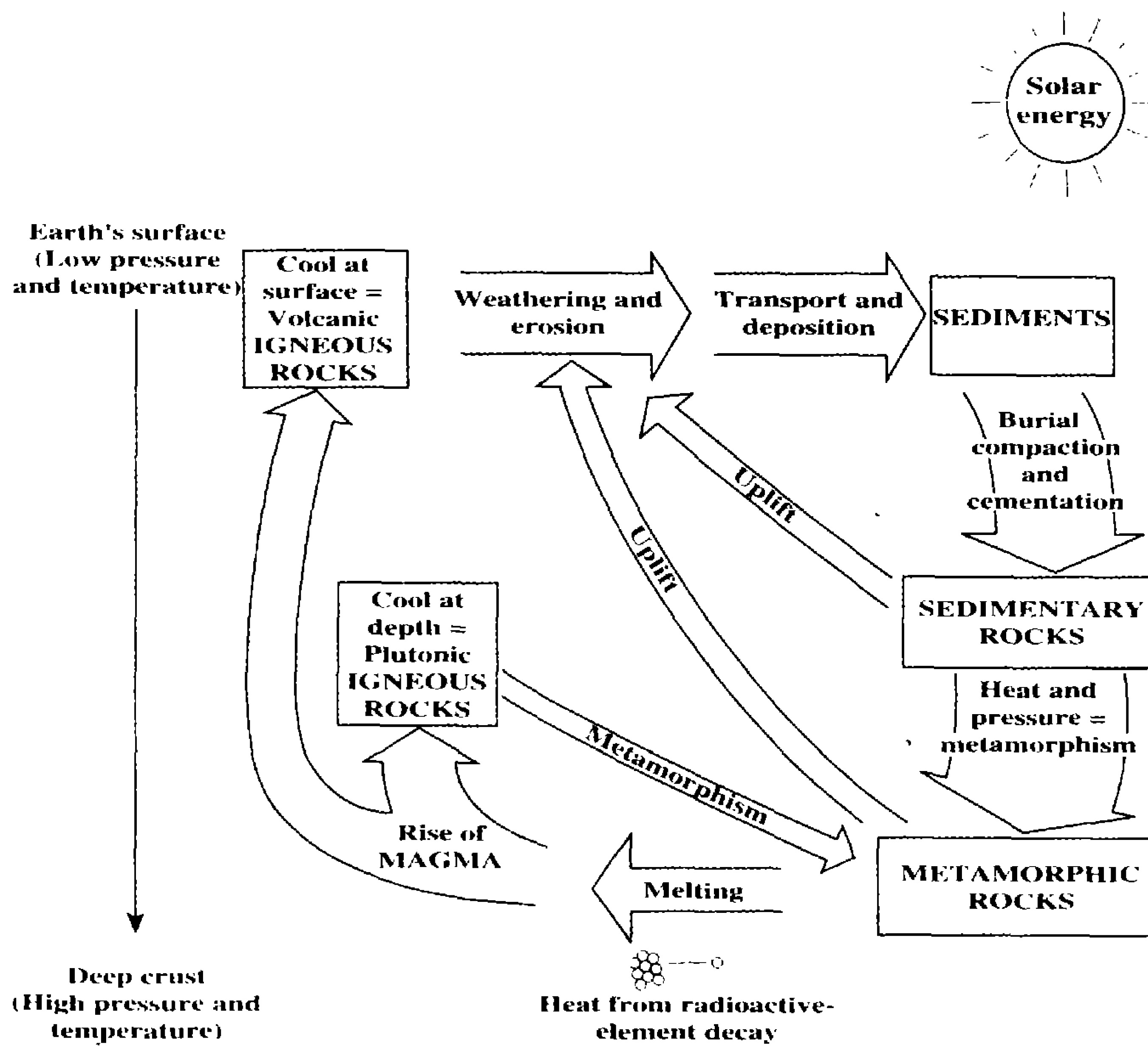
الشكل (١٤-١) الماء جزئى ثنائى الأقطاب يعرض جانبا سالبا وآخر موجبا. وهذه الثنائية القطبية تزيد من نشاط الماء.



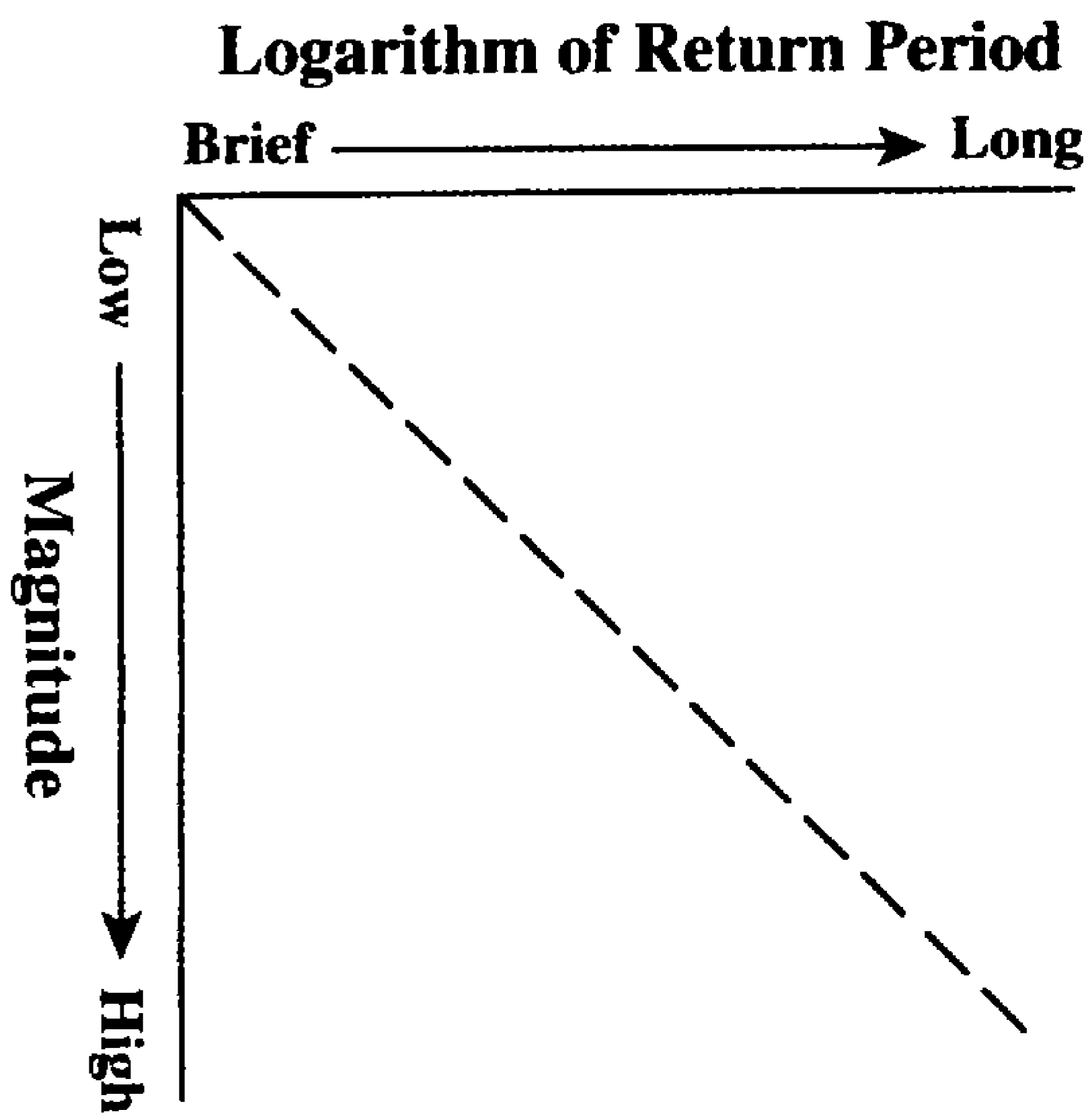
الشكل (١ - ١٥) يتسبب سحبُ الجاذبية للشمس والقمر في حركة المد على الأرض. ويحدث أكبر مدّى نهاري للمد عند طلوع القمر (الهلال) وعند استكمالهِ (البدر): بينما يبلغ المدّ النهاري للمد أدناه في الربعين الأول والثالث للقمر (الجزر المحاق).



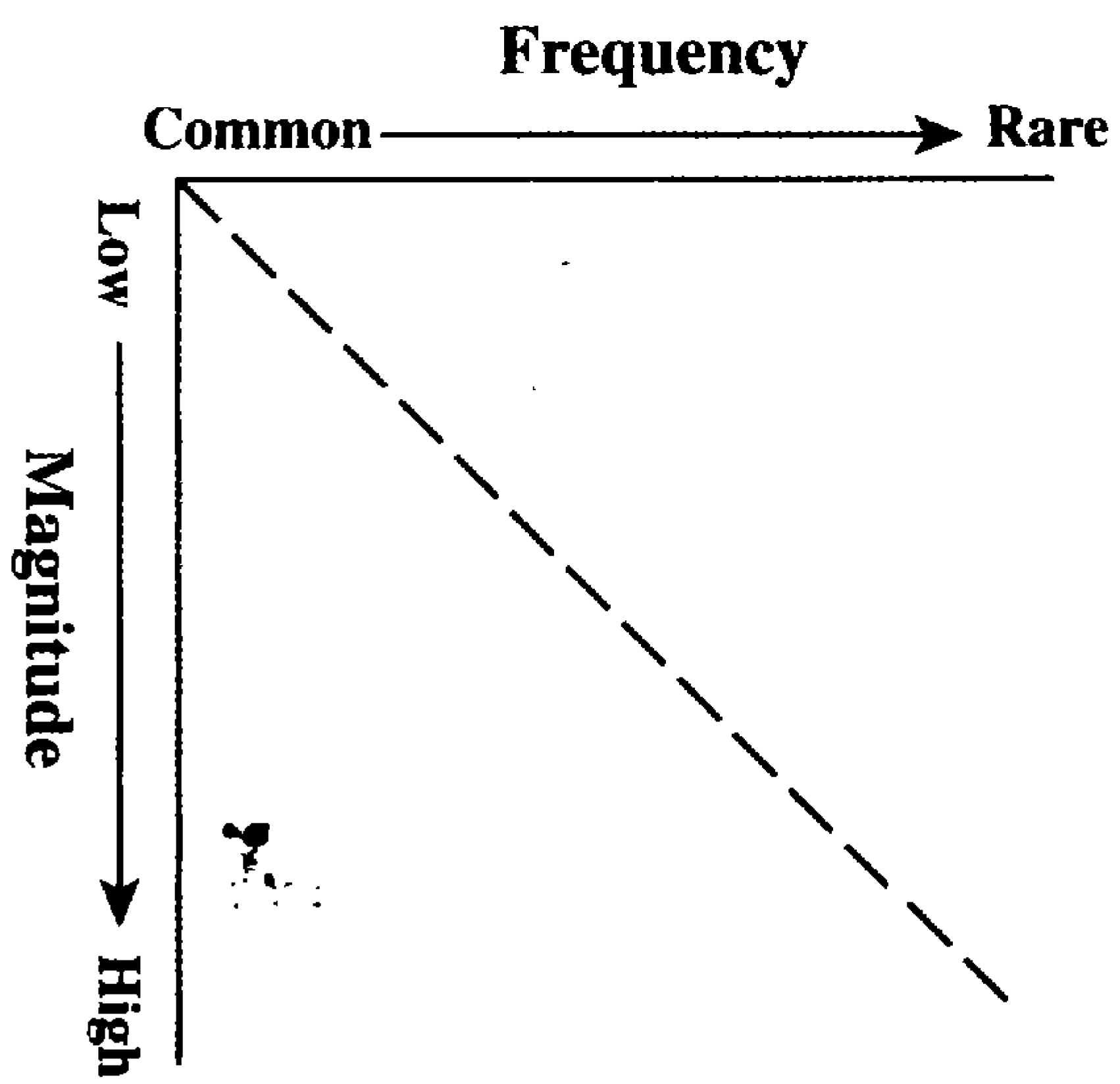
الشكل (١ - ١٦) دورات ومدارات نظام الأرض والقمر والشمس تولّد كميات هائلة من الطاقة.



الشكل (١-١٧) دورة الصخور. تبرد الصهارة وتتجمد لتشكل صخورا نارية. وتتكسر الصخور المعرضة على سطح الأرض وتتحلل إلى رواسب (مثل الحصى والرمل والصلصال) حيث تنقل وترسب لتصبح صخورا رسوبية. وبزيادة الدفن في العمق تترادى الحرارة والضغط فيحدث تغيير أو تحول في الصخور لتصير صخورا متحولة.



الشكل (١٩-١) العلاقة بين قوة الكارثة وفترة الترقب:
فكلما عظمت الكارثة، طالت مدة ترقبها.



الشكل (١٨-١) العلاقة بين قوة الكارثة ومدى تكرارها:
فكلما عظمت الكارثة، ندر حدوثها.

جداول الفصل الأول

الجدول (١-١) أشد ١٥ كارثة طبيعية إحداثا للوفيات في عام ١٩٩٩

Fatalities	Date/Start	Event	Country
50,000	15 Dec	Floods and mudflows	Venezuela
19,118	17 Aug	Earthquake (Izmit)	Turkey
15,000	29 Oct	Hurricane (Orissa)	India
3,400	20 Sep	Earthquake (Nantou)	Taiwan
1,300	3 Oct	Floods and landslides	Mexico
1,185	25 Jan	Earthquake (Quindio)	Colombia
834	12 Nov	Earthquake (Duzce)	Turkey
751	20 May	Hurricane	Pakistan/India
725	16 Jun	Floods (Yangtze River)	China
662	25 Oct	Floods	Vietnam
411	6 Aug	Floods (West Bengal)	India
307	12 Jul	Floods (Andhra Pradesh)	India
275	31 Dec	Cold wave	India
265	30 Jul	Floods	Philippines
224	15 Jul	Heat wave in east	U.S.A.
94,457 Total			

الجدول (٢-١) بعض العناصر النشطة الإشعاع في الأرض

Parent	Decay Product	Half-Life (billion years)
Aluminum-26	Magnesium-26	0.00072 (720,000 years)
Uranium-235	Lead-207	0.71
Potassium-40	Argon-40	1.3
Uranium-238	Lead-206	4.5
Thorium-232	Lead-208	14
Rubidium-87	Strontium-87	47
Samarium-147	Neodymium-147	106

الجدول (٣-١) تدفق القوى من الأرض وإليها

$\times 10^{12}$ Joules per Second		
Solar radiation	173,410	
Direct reflection		52,000
Direct conversion to heat		81,000
Evaporation		40,000
Water transport in oceans and atmosphere		370
Photosynthesis		40
Heat flow from interior	32.3	
General heat flow by conduction		32
Volcanoes and hot springs		0.3
Tidal energy	3	

الجدول (٤-١) التوزيع النسبي للماء على الأرض ممثلة ببرميل سعة ٥٥ جالون

World ocean	53 gallons,	1 quart,	1 pint,	3	ounces
Glaciers	1 gallon,	—	—	12	—
Groundwater	—	1 quart,	—	11.4	—
Atmosphere	—	—	1 pint,	4.5	—
Freshwater lakes	—	—	—	0.5	—
Saline lakes, inland seas	—	—	—	0.34	—
Soil moisture	—	—	—	0.25	—
Rivers	—	—	—	0.01	—

الجدول (١-٥) الوفيات بسبب الكوارث الطبيعية في المدة من ١٩٤٧ حتى ١٩٨٠

Number of Killing Events	Earthquake	Tsunami	Volcanic				Other			Life Loss Totals by Geographic Area
			Eruption	Flood	Hurricane	Tornado	Weather	Landslide/ Avalanche		
180	7	18	333	210	119	147	45			
North America	77	60	96	1,633	1,997	4,568	5,003	323	13,757	
Caribbean and Central America	30,613	—	151	2,575	16,541	26	510	260	50,676	
South America	38,837	—	440	4,396	—	—	340	5,282	49,275	
Europe	7,750	—	2,000	11,199	250	39	6,816	640	28,694	
Asia	354,521	4,459	2,805	170,664	478,574	4,308	34,403	4,356	1,054,090	
Africa	18,232	—	—	3,891	864	548	5	—	23,540	
Oceania	18	—	4,000	77	290	—	117	—	4,502	
Life loss totals by Earth process	450,048	5,519	9,492	194,435	498,516	9,489	47,194	10,841	Life loss total = 1,225,534	

Source: Data from Shah (1983).

الجدول (٦-١) ٤٠ كارثة من أشد الكوارث فتكا للبشر في المدة من ١٩٧٠ حتى ١٩٩٩

Fatalities	Date/Start	Event	Country
300,000	14 Nov 1970	Hurricane	Bangladesh
250,000	28 Jul 1976	Earthquake (Tangshan)	China
165,000	26 April 1986	Nuclear power plant accident	Ukraine
140,000	29 Apr 1991	Hurricane Gorky	Bangladesh
60,000	31 May 1970	Earthquake and landslide (Nevados Huascaran)	Peru
50,000	15 Dec 1999	Flooding and mudslides	Venezuela
50,000	21 Jun 1990	Earthquake (Gilan)	Iran
25,000	7 Dec 1988	Earthquake	Armenia
25,000	16 Sep 1978	Earthquake (Tabas)	Iran
23,000	13 Nov 1985	Volcanic eruption and mudflows (Nevado del Ruiz)	Colombia
22,000	4 Feb 1976	Earthquake	Guatemala
19,118	17 Aug 1999	Earthquake (Izmit)	Turkey
15,000	19 Sep 1985	Earthquake (Mexico City)	Mexico
15,000	11 Aug 1979	Dam failure (Morvi)	India
15,000	1 Sep 1978	Flood (Monsoon rains in north)	India
15,000	29 Oct 1999	Hurricane (Orissa)	India
10,800	31 Oct 1971	Flood	India
10,000	25 May 1985	Hurricane	Bangladesh
10,000	20 Nov 1977	Hurricane (Andhra Pradesh)	India
9,500	30 Sep 1993	Earthquake (Marashtra state)	India
9,000	22 Oct 1998	Hurricane Mitch	Honduras
8,000	18 Aug 1978	Earthquake (Mindanao)	Philippines
8,425	17 Jan 1995	Earthquake (Kobe)	Japan
6,304	5 Nov 1991	Typhoons Thelma and Uring	Philippines
5,300	28 Dec 1974	Earthquake	Pakistan
5,000	10 Apr 1972	Earthquake (Fars)	Iran
5,000	23 Dec 1972	Earthquake (Managua)	Nicaragua
5,000	30 Jun 1976	Earthquake (West Irian)	Indonesia
4,800	23 Nov 1980	Earthquake (Campagna)	Italy
4,500	10 Oct 1980	Earthquake (El Asnam)	Algeria
4,375	21 Dec 1987	Boat collision	Philippines
4,000	15 Feb 1972	Storm; snow	Iran
4,000	24 Nov 1976	Earthquake (Van)	Turkey
4,000	30 May 1998	Earthquake (Takhar)	Afghanistan
3,840	1 Nov 1997	Hurricane Linda	Vietnam
3,800	8 Sep 1992	Floods (Punjab)	Pakistan
3,658	1 Jul 1998	Flood (Yangtze River)	China
3,400	20 Sep 1999	Earthquake (Nantou)	Taiwan
3,200	16 Apr 1978	Hurricane	Reunion
3,000	1 Aug 1988	Flood	Bangladesh
1,326,018 total			

الجدول (٧-١) ٤٠ كارثة من أشد الكوارث خسارة للتأمينات في المدة من ١٩٧٠ حتى

١٩٩٩

Losses in Millions of 1999 U.S. \$	Fatalities	Date/Start	Event	Country
19,068	38	24 Aug 1992	Hurricane Andrew	USA
14,122	60	17 Jan 1994	Earthquake (Northridge)	USA
6,906	51	27 Sep 1991	Typhoon Mireille	Japan
5,882	95	25 Jan 1990	Winter Storm Daria	Europe
5,664	61	15 Sep 1989	Hurricane Hugo	USA
4,528	63	17 Oct 1989	Earthquake (Loma Prieta)	USA
4,500	80	25 Dec 1999	Winter Storm Lothar	Europe
4,415	13	15 Oct 1987	Storm	Europe
4,088	64	26 Feb 1990	Winter Storm Vivian	Europe
3,622	600	20 Sep 1998	Hurricane Georges	USA, Caribbean
2,980	26	22 Sep 1999	Typhoon Bart	Japan
2,831	167	6 Jul 1988	Explosion on Piper Alpha offshore oil rig	UK
2,716	6,425	17 Jan 1995	Earthquake (Kobe)	Japan
2,360	70	10 Sep 1999	Hurricane Floyd	USA & Bahamas
2,307	59	4 Oct 1995	Hurricane Opal	USA
2,200	45	27 Dec 1999	Winter Storm Martin	France
2,027	246	10 Mar 1993	Storm (East Coast)	USA
2,000	19,118	17 Aug 1999	Earthquake	Turkey
1,909	41	11 Sep 1992	Hurricane Iniki	USA
1,789	23	23 Oct 1989	Explosion at Phillips Petroleum	USA
1,733	—	12 Sep 1979	Hurricane Frederic	USA
1,708	39	5 Sep 1996	Hurricane Fran	USA
1,696	2,000	18 Sep 1974	Hurricane Fifi	Honduras
1,648	116	3 Sep 1995	Hurricane Luis	Caribbean
1,575	350	12 Sep 1988	Hurricane Gilbert	Jamaica
1,485	54	3 May 1999	Tornadoes	USA
1,477	500	17 Dec 1983	Storms (snow/frost)	USA
1,476	26	20 Oct 1991	Fire—into urban area, drought	USA
1,461	350	2 Apr 1974	Tornadoes in 14 states	USA
1,398	31	4 Aug 1970	Hurricane Celia	USA
1,393	—	25 Apr 1973	Flood (Mississippi River)	USA
1,380	—	15 May 1998	Tornadoes	USA
1,305	12	19 Sep 1998	Typhoon Vicki	Japan
1,263	46	5 Jan 1998	Ice storm	Canada/USA
1,247	21	5 May 1995	Storm (wind, hail, floods)	USA
1,198	100	2 Jan 1976	Storms (over Northwest)	Europe
1,133	20	17 Aug 1983	Hurricane Alicia	USA
1,100	3	26 Oct 1993	Fire—into urban areas	USA
1,099	40	21 Jan 1995	Storms and flooding in North	Europe
1,067	28	3 Feb 1990	Winter Storm Herta	Europe
\$123.756 billion	31,081 total			

مراجع الفصل الأول

نصوص ومراجع مقترحة Suggested Readings and References

- Alexander, D. (1993). *Natural Disasters*. New York: Chapman & Hall.
- Calder, N. (1972). *The Restless Earth*. New York: Viking Press.
- Cowan, G. A. (1976, July). A natural fission reactor. *Scientific American*, 36–47.
- Dalrymple, G. B. (1991). *The Age of the Earth*. Palo Alto, CA: Stanford University Press.
- Hubbert, M. K. (1971, September). The energy resources of the Earth. *Scientific American*, 225, 61–70.
- Levin, H. L. (1996). *The Earth through Time* (5th ed.). New York: Saunders College.
- Menard, H. W. (1974). *Geology, Resources, and Society*. New York: W. H. Freeman.
- National Research Council. (1986). *Global Change in the Geosphere-Biosphere*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Press, F., and Siever, R. (1986). *Earth* (4th ed.). New York: W. H. Freeman.
- Schmidt, V. A. (1986). *Planet Earth and the New Geoscience*. Dubuque, IA: Kendall/Hunt. (See also the seven-part television series "Planet Earth.")
- Shah, B. V. (1983). Is the environment becoming more hazardous? *Disasters*, 7, 202–209.
- Skinner, B. J., and Porter, S. C. (1987). *Physical Geology*. New York: John Wiley and Sons.
- Van Andel, T. H. (1994). *New Views on an Old Planet* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press.
- Zanetti, A., and Enz, R. (2000). Natural catastrophes and major losses in 1999. *Sigma No. 2*, Swiss Reinsurance Company.

Videos

الفيديو

- The Earth Revealed—Geologic Time. (1992). Annenberg/CPB Project (30 min.).
- Geologic Time. (1986). Encyclopedia Britannica/American Geological Institute (24 min.).
- The Earth Has a History. (1988). Geological Society of America (20 min.).
- The Miracle Planet—The Heat Within. (1987). Nova/KCST (60 min.).

الفصل الثانى

الألواح التكتونية والزلازل

ورب أجزاء ظاهرية من الكرة الأرضية تبدو لى وكأنها لم تكن لتحدث بالمرّة لو كانت الأرض فى قلبها صلبة جامدة ، وحينئذ سوف أتخيل أنها سائلة مكثفة ولها كثافة نوعية ، وكثير من الجاذبية أعلى من كل مادة نعرفها أو نراها ، لذلك فهى تطفو على سوائل سمرمدية و سطح الكرة الأرضية هو قشرة خارجية قابلة لأن تنكسر وأن تضطرب فى قوة ، بفعل ما تحتها من سوائل وما تأتية من حركة.

بنيامين فرانكلين ، ١٧٨٠

الزلازل تدمر مساكننا وتقتلنا (الشكل ٢-١). ونبدأ فى وقاية أنفسنا منها بمعرفة كيف تدور الأرض. فحركة كوكبنا ونشاطه لا يمكن إدراكهما تماما حتى نفهم كيف تنوعت الأرض فى سلسلة من الطبقات الطافية وكيف تتحرك طبقة الصخور الخارجية فى عملية الألواح التكتونية.

تاريخ الأرض

مفهومنا الحالى عن أصل الأرض أنها كتلة ملتحملة من الأتربة والجسيمات الأكبر تدور حول الشمس منذ حوالى ٦ , ٤ بليون سنة. وارتفعت حرارتها الداخلية فى

أول عدة مئات من ملايين السنين أثناء التحام تلك الجسيمات وبعدها بسبب ارتطام الكويكبات وسحب الجاذبية وخبث العناصر النشيطة الإشعاع. وفي ذلك الوقت كانت الأرض تشبه قَدراً يغلى. وظلت الحرارة تتزايد حتى بلغت الدرجة الحاسمة التي يسيل عندها الحديد. وحينئذ سحبت الجاذبية الحديد السائل إلى الداخل لتشكل اللب المعدنى. وأطلقت عملية تشكيل اللب طاقة الجاذبية وكثيرا جدا من الحرارة، أدت بدورها إلى كثير من الانصهار على نطاق واسع. وارتفعت المواد ذات الكثافة المنخفضة (مثل الصهارة والماء والغازات) التي تحررت بعد الانصهار وتراكمت على سطح الأرض على شكل قارات ومحيطات وغلاف جوى. ونعلم أن المحيطات الضخمة والقارات الصغيرة نشأت منذ ٣,٩ بليون سنة؛ وأن الحياة وجدت على شكل بكتيريا بالتمثيل الضوئى منذ ٣,٥ بليون سنة؛ وأن القارات الكبيرة وُجِدَت منذ ٢,٥ بليون سنة؛ وأن الطبقات الخارجية للأرض نشطت بعملية الألواح التكتونية قبل ما لا يقل عن ١,٥ بليون سنة.

ويقارن نيجل كالدير فى كتابه **الأرض التى لا تهدأ** تاريخ الأرض مجازيا بتاريخ حياة امرأة عمرها ٤٦ سنة. ففي هذا المجاز يقدر عمر كل من الأم والأرض بمائة مليون سنة من الزمن الجيولوجى. فالسنوات السبع الأولى ضاعت كلها بين يدى عالم الأحياء. والسجل الصخرى للأرض يتشوه مثل ذاكرة الإنسان؛ فهو يؤكد آخر الأحداث بالأرقام وبالوضوح. ومعظم ما نعرف عن الأرض الأم حدث فى الأيام الستة الماضية من حياتها. فقاراتها ظلت صغيرة فى العمر حتى بلغت ٤٢ سنة. ولم تظهر النباتات المزهرة حتى بلغت الخامسة والأربعين. وحيوانها المدلل الديناصور مات منذ ثمانية شهور. وفى منتصف الأسبوع الماضى، تطور بعض الأسلاف من القروء إلى أسلاف بشرية. وبالأمس تطور الإنسان الحديث(*) وبدأ يصطاد الحيوانات الأخرى، وفى الساعة الأخيرة اكتشف الزراعة واستقر. ومنذ خمسين دقيقة قاد موسى (عليه السلام) قومه إلى بر الأمان. وبعده بخمس دقائق ألقى عيسى (عليه السلام) مواعظه على طول خط الصدع ذاته. وفى الدقيقة الأخيرة بدأت الثورة الصناعية وزادت أعداد البشر زيادة هائلة.

(*) الإنسان Homo sapiens بوصفه نوعا بيولوجيا. (المورد - المترجم)

الأرض ذات الطبقات

الأرض اليوم نتاج أكثر من ٤,٥ بليون سنة من التخليق فى طبقات مختلفة الكثافات. وسُحبت إلى المركز كثير من المواد الكثيفة وتسربت إلى السطح بعض المواد الأقل كثافة (الشكل ٢-٢). ففي مركز الأرض يوجد لب غنى بالحديد يبلغ قطره حوالى ٧٠٠٠ كم (٤٣٥٠ ميلاً). وقطر اللب الداخلى ٢٤٥٠ كم (١٥٢٠ ميلاً) وهو كتلة صلبة تصل درجة حرارتها إلى أكثر من ٤٣٠٠ درجة مئوية (٧٧٧٠ درجة فهرنهايت). واللب الخارجى سائل فى معظمه، وتعتبر حركته اللزجة بخاصية الحمل الحرارى مسئولة عن توليد المجال المغنطيسى للأرض. واللب الغنى بالحديد كله يماثل تقريبا فى التشكيل الكتلة السائلة من النيازك المعدنية. وأوضحت الدراسات الحديثة أن اللب الداخلى الصلب يدور فى نفس اتجاه الأرض المحيطة به بل أسرع منها. ويتحرك اللب الداخلى حوالى ٣ درجات أسرع كل سنة، بما يوحى بأنها تدور دورة زائدة كل حوالى ١٢٠ سنة. ودارت المناقشات الحارة حول السبب فى الدوران الأسرع لللب الداخلى ولكن يحتمل أن يكون بسبب الإبطاء الأقل بالاحتكاك المدى بالقمر. ويستغرق التباطؤ المدى وقتا للمرور خلال الأرض الدوارة، وخاصة بالنسبة لللب الخارجى السائل، ولهذا يظل اللب الداخلى فى مقدمة السباق مع بقية كوكبنا.

ويغلف اللب وشاح صخري(*) سميك، يبلغ سمكه حوالى ٢٩٠٠ كم (١٨٠٠ ميل) ويشبه فى تكوينه الشهب الصخرية (الكوندريت)(**) والنيازك الصخرية. ويتكون الوشاح من ٨٣٪ من حجم الأرض و ٦٧٪ من كتلتها. ويطفو فوق صخور الوشاح الساخنة الطافية قشرة حبيبية من صخور أقل كثافة وفوقها تقع المحيطات والغلاف الجوى.

(*) وشاح صخري mantle rock، النطاق الأعلى من صخر المنطقة التى أثرت فيه المؤثرات الجوية فتفتت وتحلل وصار ما يسمى بالتربة وما تحت التربة. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

(**) كوندريت chondrite: شهب أو أحجار سماوية صخرية تحتوى على كريات من المعادن السليكاتية والزجاج وفى العادة كميات ضئيلة من الحديد والنيكل. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

والطبقة العليا من الوشاح البالغ سمكها ٧٠٠ كم (٤٣٥ ميلا) تقع فيها العناصر الخفيفة ولهذا تختلف عن الطبقة السفلى منه البالغ سمكها ٢٢٠٠ كم (١٣٦٥ ميلا). ويمكن معرفة أوجه الخلاف بالتقريب بإذابة نيزك كوندريت فى المعمل. فالإذابة تحدث فصلا ترتفع فيه الرغوة العليا للعناصر القليلة الكثافة فوق بقايا العناصر/ المعادن الأعلى كثافة. فالتخليق مشابه للقشرة القارية التى ترتفع فوق الطبقة العليا من الوشاح بالإذابة والفصل. ونتيجة لكل سنوات تدفق الحرارة إلى سطح الأرض نز كثير من العناصر المنخفضة الكثافة لتشكل القشرة القارية. واليوم تشكل القارات ١, ٠٪ فقط من حجم الأرض.

وبالمفهوم الواسع، يمكن اعتبار أن الأرض ليست كرة صلبة متجانسة؛ ولكنها سلسلة من الطبقات الطافية؛ حيث تقع المواد الأقل كثافة على التوالى فوق الطبقات ذات المواد الأعلى كثافة. ويدعم اللب ذو الكثافة ١٦ جم/سم^٣ الوشاح ذا الكثافة من ٥, ٧ حتى ٣, ٣ جم/سم^٣. وتطفو القارات ذات الكثافة ٢, ٧ جم/سم^٣ فوق الوشاح الأعلى كثافة؛ وهى التى بدورها تدعم المحيطات المالحة ذات الكثافة حوالى ١, ٠٣ جم/سم^٣؛ وأخيرا الطبقة الأولى الأقل كثافة من الجميع وهى الغلاف الجوى. وتسرى فكرة الطبقات الطافية تماما على المستويات الصغرى كذلك. فمثلا، تتكون المحيطات من كتل من الطبقات ذات الكثافات المختلفة. فماء المنطقة القطبية الجنوبية الشديد البرودة والكثيف يتدفق على طول قيعان المحيط ويغطيه ماء المنطقة القطبية الشمالية البارد الذى يغطيه ماء أكثر ملوحة والذى يغطيه بدوره ماء البحر الأدفأ والأقل كثافة. فالأرض مشكّلة بأكملها من اللب حتى الغلاف الجوى من طبقات متراصفة بالكثافة.

توازن القشرة الأرضية

ويمكن وصف الأرض المتطابقة على أنها: (١) انفصال مبنى على كثافات مختلفة بسبب اختلاف التركيب المعدنى والكيميائى ، أو (٢) طبقات ذات قوى مختلفة (الشكل ٢-٢). وتزداد باستمرار كل من الحرارة والضغط من السطح حتى اللب،

ولكن تأثيراتها على المواد مختلفة. فالحرارة المتزايدة تسبب تمدد الصخور فى الحجم وتجعلها أقل كثافة وأكثر قدرة على التدفق تحت الضغط واستجابة للجاذبية. والضغط المتزايد يسبب نقصا فى الحجم وزيادة فى الكثافة والصلادة. تَحَيَّل طبقة القطران على سطح الأرض؛ ففي الأيام الباردة تصبح صلبة وهشة، ولكن فى الأيام الحارة يمكن أن تسيل كسائل لزج. وهناك تغيرات مماثلة فى النوع لهذا المظهر الطبيعى تحدد الطبقات المختلفة للأرض. والحقيقة من منظور الكوارث الطبيعية، ليست حدود القشرة والوشاح فى أهمية الحدود بين الغلاف الجبرى lithosphere (*) (وتعنى بالإغريقية القشرة الصخرية) حيث يتفوق الضغط على الحرارة، وبين غلاف الانسياب السائلى asthenosphere (**) (وتعنى بالإغريقية الغلاف الضعيف) حيث تتفوق الحرارة على الضغط (الشكل ٢-٣). والفرق بين القوة والخواص الميكانيكية بين حالتى الصلابة والسيولة هى المسئولة عن الزلازل والبراكين.

والفكرة عن الغاز والسائل والصلب معروفة. فالغاز سائل قابل للتمدد غير المحدد. والسائل مادة سائلة قابلة للتدفق ولها حجم محدد وشكل غير محدد. والصلب ثابت يقاوم الضغط وليس من السهل أن يغير شكله. وتأثير الزمن فى هذه التعاريف مفهوم ضمنا. فكل هذه التعاريف تصف الخواص فى زمن ثابت، ولكن ما هى الخواص عند النظر إليها بمقياس زمنى أطول؟ فبعض المواد الصلبة بالتحديد تتأثر بالضغط لمدة طويلة، ففي لحظة معينة تظل صلبة، ولكنها من الداخل تتشوه وتتدفق مثل السائل. والمثال الشائع هو الجليد فى الثلجة. فعندما تطرق الثلجة بالمطرقة تنكسر قطع غليظة هشة من الثلج. بينما تغير الذرات فى داخل الثلجة أوضاعها فى الثلج وتتحرك إلى أوضاع سفلية ذات الإجهاد الأقل. ولا تتوافق الثلجات فى أية

(*) الغلاف الجبرى lithosphere: القشرة الأرضية، وهى الجزء الخارجى الصلب من الأرض. (معجم الجيولوجيا- المترجم)

(**) غلاف الانسياب السائلى asthenosphere: الجزء الذى يلى القشرة الأرضية (وقد يعتبر جزءا من المحيط اليابس) وهو النطاق العميق من القشرة الأرضية وتوجد فيه الصخور فى حالة تسمح بالتأثر السريع بحركات الطى والتشوه. (معجم الجيولوجيا- المترجم)

لحظة زمنية مع فكرتنا عن السائل، ولكن بمضى الزمن تتدفق المثلجة على سطح التل كسائل لزوجة فوق العالية.

ونقدم مثالا آخر عن الملح الصخري (كلوريد الصوديوم الشائع على مائدة الطعام). فعندما يقيد تدفق ماء البحر في قاع المحيط ويسود التبخر يتبلور الملح الصخري ويتراكم في قاع المحيط. وعندما تدفن تدريجيا طبقات الملح تحت أكوام من الرواسب (الحصى والرمل والطين)، يتزايد كل من الضغط والحرارة. وعندما يصل سمك أكوام الرواسب العلوية ٤٥٠ - ٦٠٠ متر (١٥٠٠ - ٢٠٠٠ قدم) يشكل وزنها ضغطا يتجاوز قوة الملح الصخري فيتشوه داخليا ويتدفق. ونظرا إلى أن كثافة الملح الصخري أقل من كثافة الرواسب التي تعلوه، فإن الملح يرتفع إلى أعلى بقوة الطفو، شاقا طريقه نحو السطح على شكل سداة ملحية أو قبة مفترضة (الشكل ٢-٤). وتوجد قباب الملح في مناطق كثيرة من العالم. فمثلا يوجد في إقليم تكساس- لويزيانا طبقة سميكة من الملح تشكلت في القاع السابق لخليج المكسيك القديم. وهذه الطبقة من الملح الآن مدفونة على عمق ١٠ كم (٦ ميل)، وقد دفعت إلى أعلى ٢٠٠ سداة من الملح يصل قطر بعضها إلى ١١ كم (٧ أميال). وحتى أقوى الصخور وأصلدها تكتسب خاصية السيولة بفعل الوقت والحرارة العالية.

ونموذج الخاصية الميكانيكية الذي يطرحه الملح الصخري يماثل نظيره الصخر في غلاف الانسياب السائلي للأرض. فطبقة الصخر لدنة بمفهوم ويليام جيمس في مبادئ علم النفس في عام ١٨٩٠؛ حيث عرّف كلمة plastic بأنها «حيازة لبنية ضعيفة ترضخ للتأثير، ولكنها قوية بحيث لا ترضخ على الفور». فقمة النطاق الانسيابي (*) تأتي إلى السطح عند سلسلة الأعراف البركانية للمحيط ولكنها تقع في مناطق أخرى على عمق ١٠٠ كم (حوالي ٦٠ ميلا) تحت السطح. ولها حدود متدرجة علوية وسفلية ويبلغ سمكها ٢٥٠ كم (١٥٥ ميلا). فما هي الآثار المترتبة على وجود هذا النطاق اللدن بالقرب من سطح الأرض؛ وهناك قدر كبير من تدفق الصخور في النطاق الانسيابي

(*) النطاق الانسيابي asthenosphere أو الاستينوسفير، وهو النطاق العلوي في وشاح الأرض حيث تسمح الحركات التشكيلية بالانضباط الأيزوستاتيكي. (ما هي الجيولوجيا؟- المترجم)

الذى يساعد على ارتفاع وانخفاض سطح الأرض. فالأرض مثلا تعرف عادة بأنها كرة، ولكنها ليست كذلك. وربما عُرِفَت الأرض بتعبير أدق بأنها مجسم ناقص مفلطح عند القطبين (حوالى ٣٠ كم أى ١٩ ميلا) ومنبعج عند خط الاستواء (حوالى ١٥ كم أى ٩ أميال). والأرض ليست من الصلادة ولا القوة بالقدر الكافى للدوران والحفاظ على شكلها الكروى. ولكن الأرض يتشوه شكلها استجابة لقوة الدوران.

ظهرت فكرة التوازن فى القرن التاسع عشر وتنطبق عليها مبادئ الطفو فى القارات القليلة الكثافة وسلاسل الجبال التى تطفو فى الواقع فوق الوشاح الأعلى كثافة والواقع تحتها. وكما يبرز جبل الجليد فوق سطح المحيط بينما تطفو معظم كتلته تحت سطح البحر، تبرز كذلك القارة العائمة، وفى الوقت ذاته تمتد جنورها السميكة أسفل منها (الشكل ٢-٣). ومن أمثلة تأثير الطفو أو مُعَامِل التوازن ما تحدد بالمساحة الدقيقة للريف قبل وبعد بناء سد هوفر على نهر كولورادو شرقى لاس فيجاس بولاية نيفادا (الشكل ٢-٥). ففي أول فبراير ١٩٣٥ بدأ حجز الماء فى بحيرة ميد. وبحلول عام ١٩٤١ احتجز ٢٤ مليون إيكرو/ قدم من الماء مشكلا ثقلا وزنه ٤٠٠٠٠ مليون طن على مساحة ٢٣٢ ميلا مربعا. ورغم أن هذا الخزان مثير للإعجاب على المقياس البشرى، فما الأثر الذى تتخيله أن يكون أحدثه على كل الأرض؛ والحقيقة أنه خلال ١٥ سنة من ١٩٣٥ حتى ١٩٥٠ انخسف الإقليم المركزى تحت الخزان حوالى ١٧٥ ملليمترا (٩ بوصات) (الشكل ٢-٥)، فإجراء التخزين البسيط نسبيا أدى إلى ضبط توازنه تسبب فى هبوط المنطقة.

فما مقدار صلابة وثبات سطح الأرض التى نعيش عليها؟ هناك أمثلة بمقياس أكبر تزودنا بها طبقات الجليد الكبرى فى الماضى الجيولوجى القريب. فمنذ ٢٠٠٠٠ سنة كانت الثلجة القارية التى دفنت إقليم فنلندا - السويد يبلغ سمكها ٣ كم (٢ ميل). وانخفضت الأرض تحت هذا الثقل الكبير. ومنذ ١٠٠٠٠ سنة تراجعت طبقة الجليد وذابت وعاد الماء إلى المحيط. وارتد إلى أعلى الإقليم الذى ظل مدة طويلة مضغوطة بحمله من الجليد بعد أن تحرر منه عن طريق الضبط التوازنى. وفى الـ ١٠٠٠٠ سنة الماضية ارتفعت المنطقة شمال شرقى ساحل السويد وغربى فنلندا بمقدار ٢٠٠ متر (٦٥٠ قدما). وهذه الحركة لأعلى ظهرت فى أثناء التنقيب عن إحدى المنشآت

فى سٲكهولم فى السويد. إذ كشف العمال النقب عن إحدى سفن الفايكنج التى غرقت فى الميناء ودفنت فى الطين. ورفعت السفينة إلى مستوى سطح البحر وهى مغطاة بغطاء من الطين، عندما ارتفعت منطقة الميناء أثناء حدوث الارتداد التوازنى. وتشير قياسات الجاذبية فى هذا الإقليم إلى أن شذوذا سلبيا يبشر بارتفاع توازنى آخر قدره ٢٠٠ متر (٦٥٠ قدما). وسيضيف هذا الارتفاع إضافة جديدة إلى أرض السويد وفنلندا ويقلل من حجم خليج بوٲنيا الواقع بينهما.

حدثت بعض عمليات ارتفاع الأرض المبكرة بعد زوال طبقة الجليد بحركة مفاجئة مزقت سطح الأرض وأحدثت زلازل قوية. ففي شمالى السويد هناك تمزق أرضى طوله يبلغ ١٦٠ كم (١٠٠ ميل)، وجرفان متوازيان ارتفاعهما ١٥ مترا (٥٠ قدما). وكانت الصخور فى الإقليم قديمة وصلبة بما يوحى بأن التمزق يبلغ عمقه ٤٠ كيلومترا (٢٥ ميلا) وبأنها ولدت زلازل قدرتها ٨,٢ بمقياس ريختر.

والحركة العمودية للقشرة الأرضية الصلبة الطافية على النطاق الانسيابى اللدن توثقت جيدا. أضف حملا على سطح الأرض وقس ضبط الحركة إلى أسفل؛ ثم أزل الحمل وقس الارتفاع إلى أعلى. يتضح من ذلك أن سطح الأرض فى توازن دقيق. والنقطة التالية للمناقشة هى الحركة الأفقية بين القشرة الأرضية والنطاق الانسيابى، وهى التى تدخلنا فى عالم الألواح البانية (التكتونية).

الألواح البانية (التكتونية)

وإضافة مكونات الحركات الأفقية على الأرض تؤهلنا لفهم الدورة التكتونية(*).

إذا نحينا جانبا التعقيدات اللحظية، أمكننا ببساطة شرح الدورة التكتونية فى النقاط التالية (الشكل ٢-٦). أولا: يندفع النطاق الانسيابى المنصهر إلى أعلى على شكل

(*) نظرية البناء اللوحى أو الصفائح للأرض Plate tectonic theory: تبلورت فى صورتها النهائية فى عامى ١٩٦٧ و ١٩٦٨، وأمكن من خلالها تفسير العديد من الظواهر الجيولوجية وعلى رأسها الزلازل والبراكين. (سليمان، الزلازل- المترجم)

صهارة ثم يبرد ليشكل قاعا جديدا للمحيط/ القشرة الأرضية. **ثانيا:** تتحرك القشرة الأرضية الجديدة عرضيا ببطء بعيدا عن منطقة تشكيل قشرة المحيط فوق النطاق الانسيابي الذى يقع تحتها (انتشار قاع البحر). **ثالثا:** عندما يصطدم الطرف الأمامى للوح المتحرك من القشرة المحيطية بلوح آخر، فإن اللوح الأقدم والأبرد والأعلى كثافة ينضوى تحت اللوح الآخر وتسحبه الجاذبية عائدة إلى النطاق الانسيابي (الانضواء)، بينما يركب اللوح الأقل كثافة والأكثر طفوا. **وأخيرا:** يبدأ اللوح الغاطس فى النطاق الانسيابي فى الذوبان حتى يمتصه الوشاح وينتظر دوره فى جولة أخرى إلى سطح الأرض (الشكل ٢-٦). وتستغرق هذه الدورة لاستكمالها زمنا طويلا يزيد عن ٢٥٠ مليون سنة.

وتسمى الدورة الكبيرة المتكررة للقشرة الأرضية فى بضع مئات من الكيلومترات بالدورة التكتونية. فكلمة *tekton* تعنى بلغة المعمار الإغريقية «البناء»؛ وطوّرها علماء الجيولوجيا لتعنى البناء التكتونى الذى يشرح البناء الطبوغرافى (التضاريس) والتشوه والحركة فى طبقات الأرض الخارجية. فإذا طبقنا فكرة رائد الفضاء الجيولوجى فى الفضاء ونظرنا إلى الدورة التكتونية من تحتنا لرأينا أن القشرة الأرضية تنقسم إلى قطع تسمى الألواح (الشكل ٢-٧). ودراسة الحركات والتفاعلات لهذه الألواح تعرف بالألواح التكتونية، وربما تتباعد ألواح القشرة الأرضية (تباعدا) أو تنزلق (قص) أو تصطدم (تقارب) ببعضها، وتكون مسئولة عن معظم الزلازل والثورات البركانية والجبال على الأرض.

وهناك طريقة أخرى لتصوير الألواح التكتونية باستخدام بيضة مسلوقة جيدا كمجاز للأرض. فتعتبر القشرة الهشة للبيضة بمثابة القشرة الأرضية. والغشاء الداخلى الزلق الذى يحدد القشرة بمثابة النطاق الانسيابي، بينما يمثل بياض (زلال) البيضة بقية الوشاح، والصفار يمثل اللب. وقبل أن نأكل البيضة المسلوقة نكسر قشرتها الهشة إلى قطع تنزلق حولها عندما نحاول نزعها. وهذا النموذج الذى فى متناول اليد من القطع الهشة التى تتحرك فوق طبقة لينة يعتبر نموذجا مصغرا مماثلا للتفاعلات بين القشرة الأرضية والنطاق الانسيابي.

حاشية جانبية: المجال المغنطيسي للأرض

كل من يمسك ببوصلة ويشاهد إبرتها الحرة الحركة تشير إلى الشمال يدرك المجال المغنطيسي الذى يحيط بالأرض. والصينيون هم الذين اخترعوا البوصلة المغنطيسية وكانوا أول من استخدمها. وقاموا بدورهم بتعليمها للرحالة الأوروبيين فى القرن الرابع عشر الذين نقلوا هذه المعرفة إلى أوروبا حيث تطورت لتصبح أداة ملاحية ساعدت المكتشفين فى أواخر القرن الخامس عشر فى رحلاتهم الكشفية.

ويعمل المجال المغنطيسى للأرض كقضيب مغنطيسى عملاق موضوع فى لب الأرض بميل يبلغ ١١ درجة. ولا ينطبق القطب الشمالى الجغرافى على القطب المغنطيسى ولكن محور القطب المغنطيسى يظهر دائما بالقرب من محور الدوران. لاحظ فى الشكل (٢-٨) أن ميل خطوط القوى المغنطيسية بالنسبة لسطح الأرض يختلف باختلاف خطوط العرض. فعند خط الاستواء المغنطيسى تتوازي خطوط القوى المغنطيسية مع سطح الأرض (يبلى الانحراف صفرا). وعند القطبين الشمالى أو الجنوبى تزداد تدريجيا زاوية الانحراف حتى تصبح عمودية على السطح فى كلا القطبين الشمالى والجنوبى (الانحراف ٩٠ درجة). لاحظ أيضا أن خطوط القوى تميل إلى أسفل داخله سطح الأرض بالقرب من القطب الشمالى وتميل إلى أعلى خارجة من سطح الأرض بالقرب من القطب الجنوبى.

والواقع أن باطن الأرض حار جدا بحيث لا يتحمل القضيب المغنطيسى التواجد فيه. إذ تزول المغنطيسية من الصخور بفعل الحرارة أعلى من ٥٥٠ درجة مئوية، بينما تقدر الحرارة فى لب الأرض بحوالى ٥٨٠٠ درجة مئوية (١٠٤٧٠ درجة فهرنهايت). وأصل المجال المغنطيسى للأرض ناتج عن حركة السائل الغنى بالحديد فى اللب الخارجى التى تولد تيارات كهربائية تولد بدورها مجالا مغنطيسيا. والحديد السائل موصل جيد للكهرباء. والحديد السائل المتدفق حول اللب الداخلى الصلب دائم الحركة تلقائيا مستمدا طاقته من دوران الأرض ومن ظاهرة الحمل الحرارى للحرارة المنطلقة من تبلور المعادن على حدود اللب الداخلى والخارجى.

والنظرة الفاحصة للمجال المغنطيسي للأرض تبرز عدة مشكلات تنتظر الحل. فالمجال المغنطيسي المبسط الواضح في الشكل (٢-٨) لا يوضح التعقيدات التي تحدث على مر السنين والقرون حيث يقوى ويضعف المجال المغنطيسي. هذا بالإضافة إلى أن القطب المغنطيسي يتحرك حول منطقة القطب الشمالي الجغرافي. ويحدث تغيير هائل جدا كل عدة آلاف أو عشرات من ملايين السنين في المجال المغنطيسي: إذ تنعكس الأقطاب المغنطيسية. ففي العكس يغير المجال المغنطيسي اتجاهه من القطب الشمالي (الأمر الطبيعي) إلى القطب الجنوبي (الأمر المعكوس) أو بالعكس.

وبعد الانعكاس القادم سوف تشير بوصلتك اليدوية إلى منطقة القطب الجنوبي. وقد ترك التغير في اتجاه المجال المغنطيسي بصماته في الصخور، حيث يستطيع علماء المغنطيسية القديمة من الجيولوجيين قراءتها. فتاريخ المغنطيسية القديمة الذي تحتويه الصخور يزودنا بأهم دليل على انتشار قاع البحر؛ كما يمكننا من رسم مسارات القارات في تحركها في خطوط العرض المختلفة. أضف إلى هذا، أن سجل العكوسات المغنطيسية يزودنا ببيانات عن مقياس الزمن المغنطيسي، وهو مقياس الزمن الجيولوجي الثالث. (فمقياس الزمن الأول يستند على التسلسل غير المعكوس لحدوث الحفائر في الصخور الرسوبية، ومقياس الزمن الثاني يوجد في خمود العناصر المشعة).

تطور فكرة الألواح التكتونية

ظلت فكرة الإنسان عن الأرض محدودة نظرا لصغر حجمه وصغر المدى الذي يتحرك فيه بالمقارنة بحجم الأرض الضخم؛ فضلا عن قصر عمره بالمقارنة بعمر الأرض. وتبلغ الأرض من الضخامة والقدم ما جعل كثيرا من علماء الجيولوجيا والفلاسفة في المئات القليلة من السنوات الماضية يبذلون جهودا مشتركة لجمع المزيد من الملاحظات اللازمة لفهم كيفية وأسباب حدوث التغيرات في الأرض. بدأت أول نظرة في الفكر الحديث بعد الاكتشافات الجغرافية الأوروبية في أواخر القرنين الخامس عشر والسادس عشر بالخرائط التي رسمت أشكال ومواقع القارات والمحيطات المعروفة. وهذه الخرائط العالمية المبكرة أثارت الاهتمام بالإمكانات المتيسرة. فمثلا في عام ١٦٢٠

ذكر الفيلسوف الإنجليزي فرانسيس بيكون أن هناك توافقا بين سواحل أمريكا الجنوبية وأفريقيا المطلة على المحيط الأطلنطي، واقترح أن هاتين القارتين كانتا في يوم ما ملتصقتين. وفي أواخر القرن التاسع عشر عرض عالم الجيولوجيا الأسترالي إيوارد سويس أدلة عديدة تدعم فكرة قارة جوندوانالاند؛ وهي أم للقارات الجنوبية القديمة، تتكون من وحدة موحدة من قارات أمريكا الجنوبية وأفريقيا والقطبية الجنوبية وأستراليا والهند ونيوزيلندا التي انفصلت عن بعضها أخيرا. وجاء العالم الفلكي الألماني ألفريد فيجنر فكان أول وأشهر من أعلن بصراحة تأييده المبكر لقضية انجراف القارات(*) . ففي كتابه **أصل القارات والمحيطات** (١٩١٥) جمع فيه كل الأدلة المتيسرة مثل الصخور والحفائر والبناء الجيولوجي المتشابهة على الجانبين المتقابلين للمحيط الأطلنطي. واقترح أن كل القارات كانت موحدة في قارة عملاقة تسمى بانجيا Pan-gaea؛ (وتعني pan كل و gaea الأرض).

وأتارت نظرية فيجنر عن انجراف القارات كثيرا من النقد أكثر مما أثارت من القبول في حياته. فلماذا لم تقبل فكرته على نطاق واسع؟ طرح فيجنر فكرته المثيرة للاهتمام والمدعمة جيدا بالمشاهدات والمنطق، ولكن آلياته عن انجراف القارات اعتبرت مستحيلة. وعندما عرض فيجنر الدليل على انجراف القارات واجه الجيولوجيين وعلماء طبيعة الأرض الذين حاولوا أن يتخيلوا كيف تنطلق قارة حرة وتنفصل عما تحتها من صخور حارثة ممرا فوقها. وبدا الأمر مستحيلا من الناحية الطبيعية (الفيزيائية). وحدث تطور في الفكر عندما درست قيعان المحيطات وشرحت البيانات بالتفصيل عن تشكيل جديد لقاع البحر الذي ينفصل وينتشر ثم يستهلك بالانضواء(**). وعندما أصبح معلوما أن القشرة الأرضية تتحرر من النطاق الانسيابي وتتحرك عرضيا، أمكن اعتبار القارات الأصغر نسبيا في الحجم والأقل في الكثافة والمستقرة في قشرة المحيط محمولة عليه كمسافر طارئ.

(*) في سنة ١٩١٢ نشر فيجنر بحثا ضمنه فكرة زحف وانجراف القارات. (سليمان، الزلازل- المترجم)

(**) انضواء، خضوع Subduction: حركة تؤدي إلى نزول لوح ليثوسفيري تحت لوح آخر. (ما هي الجيولوجيا؟- المترجم)

وفى منتصف الستينيات من القرن العشرين انتشر الدليل وبدأت الآليات صادقة، بظهور نظرية الألواح التكتونية والاعتراف بها على نطاق واسع؛ فأعيد فيجنر إلى منزلته الرفيعة. ونما الفكر العلمى بإضافة بيانات جديدة، وتعُدلت النظريات القديمة وظهرت نظريات جديدة. فالعلم ليس جامداً؛ فهو دائم النمو والتطور فى المعرفة التى تمخضت عن فهم أفضل لكيفية عمل الأرض.

ويندر فى المجال العلمى أن تجد اتفاقاً واسع النطاق على نظرية شاملة مثل نظرية الألواح التكتونية. ولكن عندما انتشرت فكرة الحقل المغنطيسى للأرض الكامن فى صخور قاع البحر، اقتنع المشككون حول العالم بحدوث انتشار فى قاع البحر وبصلاحية نظرية الألواح التكتونية. وزادت صلاحية البيانات المغنطيسية القديمة بما يسمح لنا بفهم قصتها حتى تصبح الألواح التكتونية حقيقة واقعة.

مغطة الصخور البركانية

تثور الحمم(*) من البركان وتتدفق خارجة على شكل كتلة تشبه اللوح ثم تتباطأ حتى تتوقف. وعندما تبرد الحمم تبدأ المعادن فى النمو على شكل بلورات. وبعض هذه البلورات التى تشكلت مبكراً تحتوى فى تركيبها على الحديد. وبعد أن تبرد الحمم إلى أقل من نقطة كورى-حوالى ٥٥٠ درجة مئوية - تتمغنط الذرات فى المعادن الحاملة للحديد فى اتجاه المجال المغنطيسى للأرض فى ذلك الزمان والمكان. فالذرات المتراصة فى البلورات الغنية بالحديد تعمل كأنها إبر مغنطيسية تشير إلى القطب المغنطيسى فى زمانها (وتقاس كزاوية انحراف أو زاوية اتجاه البوصلة)؛ كما تصبح مائلة للانحراف بنفس زاوية خطوط القوى فى المجال المغنطيسى (تقاس كانحراف أو ميل). وتم قياس المجالات المغنطيسية القديمة فى صخور عمرها ٣,٥ بليون سنة.

(*) اللابة lava: حمم من صهير الصخر تسيل من فوهة البركان، ويطلق أيضاً على الصخر الصلب الناشئ عن تبرد هذه الحمم. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

ويتوالى تراكم تدفقات الحمم على شكل سلاسل متراصفة من طبقات الصخور، ويمكن قياس اتجاه القطب المغنطيسي لكل طبقة من الصخور (الشكل ٢-٩). وكثير من الصخور البركانية كذلك تحتوى على معادن بها عناصر مشعة تسمح بتقدير عمر الصخر البركاني، أى منذ متى تصلبت تدفقات الحمم. وعندما ترصد هذه المعلومات سويا فى عمود رأسى، يظهر مقياس زمنى للقطبية المغنطيسية (الشكل ١-١٠). ومن الجدير بالذكر أن أزمنة انعكاس الأقطاب تبدو عشوائية. فليس هناك نموذج قابل للدراسة عن الأبعاد الزمنية التى اتجه فيها المجال المغنطيسى سواء إلى الشمال أو إلى الجنوب. والقوى التى تعكس اتجاه القطب للمجال المغنطيسى معرضة للتغيير فى تدفق السائل الغنى بالحديد فى اللب الخارجى. ولم تظهر الآلية المسببة للانعكاس فى أى فاصل زمنى تحدده الرياضيات.

نماذج للمغطة فى قيعان البحار

منذ أواخر الأربعينيات فى القرن العشرين قامت سفينة أبحاث المحيطات وظواهرها بالعمل فى شبكة متقاطعة فى المحيط الأطلنطى وسحبت أجهزة قياس المغنطيسية لقياس المغنطيسية فى قاع البحر. وكلما زاد عدد الرحلات وحصلت على بيانات أكثر بدأت تظهر نماذج مذهشة (الشكل ٢-١١). فقاع المحيط الأطلنطى مخطط بنطاقات من الصخر المغنط الذى توضح تبادل القطبين. والنموذج متناسق ومتواز مع سلسلة الأعراف البركانية فى منتصف المحيط (مركز الانتشار)^(*). أى أن كل جزء مخطط من قاع البحر له جزء توأم فى الجانب الآخر من سلسلة أعراف منتصف المحيط.

(*) أعراف منتصف المحيطات mid-oceanic ridges: يطلق فقهاء علوم الأرض على مثل هذه المعالم الطبوغرافية اسم أعراف أو حيود منتصف المحيطات وهى أعراف أو حيود بسبب ارتفاعها الملحوظ عن مستوى قاع المحيط. (هميمى، الزلازل- المترجم)

وهناك علاقة جديرة بالملاحظة بين أزمنة انعكاس القطبية المغنطيسية، المقاسة بمقياس كثافة الطاقة الإشعاعية في سلسلة من تدفقات الحمم المتصلبة (الشكل ١٠-٢)، واتساع قاع البحر المتعاقب القطبين- ويمكن مقارنتهما ببعضهما البعض. والشئ المدهش أن اتساع الخطوط الممغنطة بقاع البحر تحقق نفس النسبة لطول الأزمنة الواقعة بين العكوسات المتعاقبة للمجال المغنطيسي للأرض. وهذا يعنى أن المسافة المقاسة بالكيلومترات متناسبة مع الزمن المقاس بملايين السنين. والآن، إذا كان المجال المغنطيسي للأرض يعكس القطبين بمقياس زمنى معلوم، وإذا كان أعيد إظهار المقياس الزمنى بالمسافات، فإن العلاقة تأخذ شكل السرعة. أى أن الصحارة تحقق في سلسلة أعراف المحيط حيث تطبع عليها بصمة المجال المغنطيسي للأرض عندما تبرد لتكون صخورا جديدا. وحينئذ فإن قاع البحر/ قشرة المحيط/ القشرة الأرضية تتباعد عن سلسلة أعراف منتصف المحيط وكأنها أجزاء من حزامى توصيل كبيرين يفترقان في اتجاهين متضادين (الشكل ١٢-٢).

والدليل الذى أثبته مقياس الزمن المغنطيسى القديم وقاع البحر المخطط مغناطيسيا يفرضان نفسيهما بقوة. فهما دليان مقنعان بأن انتشار قاع البحر يحدث فى الواقع وأن الألواح التكتونية نظرية صالحة. ولنبدأ الآن فى مناقشة أدلة أخرى تؤكد نظرية الألواح التكتونية.

أدلة أخرى على تكتونية الألواح

المراكز السطحية لبؤر الزلازل تحدد حواف الألواح

يمكن النظر إلى خريطة المراكز السطحية (النقط فوق المركز)^(*) للزلازل (الشكل ١٢-٢) على أنها لغز توصيل النقاط. فكل مركز سطحي يمثل موقعا حدث فيه انزلاق

(*) النقطة فوق المركز **epicenter**: نقطة على سطح الأرض فوق بؤرة الزلزال مباشرة. (ما هى الجيولوجيا؟- المترجم)

لقسم كبير من الصخر على قسم آخر. خذ قلمك وأوصل النقاط (المراكز السطحية)، وبذلك تحدد حواف الألواح التكتونية، أجزاء القشرة الأرضية التي تتحرك منفصلة. وتذكر أن سمك هذه اللوحات يبلغ حوالى ١٠٠ كم (٦٠ ميلا).

سلاسل أعراف المحيطات والخنادق العميقة

تقع أعلى سلاسل جبال على الأرض فى قيعان المحيطات وتمتد إلى أكثر من ٦٥٠٠٠ كم (٤٠٠٠٠ ميل). وهذه الجبال البركانية تنسحب متباعدة عن بعضها فى مراكز الانتشار. ويبلغ متوسط عمق قاع المحيط ٣,٧ كم (٢,٣ ميلا)، ولكن توجد أعماق تزيد عن ١١ كم (٧ أميال تقريبا) فى الخنادق الضيقة الممتدة. والخنادق العميقة هى قمم للوحات المنضوية (الغاطسة) التى تنتشى لتدخل الوشاح من جديد.

الزلازل العميقة

تحدث الزلازل فى العمق عادة على طول الألواح المائلة المجاورة لخنادق المحيط العميقة (الشكل ٢-١٤). وهذه الزلازل العميقة تحدد الألواح المنضوية التى تنسحب بالقوة عائدة إلى الوشاح.

تقدير الأعمار من أحواض المحيطات

من الحقائق المذهلة التى اكتشفت أثناء الاستطلاع الحديث للمحيطات صغر سن أحواض المحيطات، فأقدم الصخور فى قيعان المحيطات تبلغ من العمر حوالى ٢٠٠ مليون سنة؛ أى أنها أقل بكثير من ٥٪ من عمر الأرض. تذكر أن بعض صخور القارات يزيد عمرها عن ٤٠٠٠ مليون سنة، ويزيد عمر النيازك عن ٤٥٠٠ مليون سنة.

وبعض صخور القمر تزيد عن ٤٥٠٠ مليون سنة ولا يقل أصغرها سنا عن ٣١٠٠ مليون سنة.

ولكن أحواض المحيطات (وليس الماء فيها) وبعض محتوياتها من الأعراف البركانية والرواسب والحفائر أصغر من ذلك بكثير جدا. فلماذا؟ لأن أحواض المحيطات تضاريس صغيرة تتشكل وتتحطم باستمرار.

وعلى امتداد أعراف المحيط تنشط البراكين وتتشكل قشرة محيطية/ قاع بحر جديد (الشكل ٢-١٢). وإذا ابتعدنا عن الأعراف رأينا أن الصخور والجزر البركانية فى قاع البحر تبدو أقدم تدريجيا. فأقدم صخور قاع البحر توجد عند حواف قيعان المحيطات.

وفى مواقع معينة تولد البقع الحارة(*) المستقرة فى العمق صهارة ترتفع نظرا لقلة كثافتها؛ وهذه الريشات من صخر الوشاح الحار الطافى تمر إلى أعلى خلال الغلاف المتوسط(**) وتبدأ فى الذوبان بالقرب من قمة النطاق الانسيابى الذى يعلوها وتنطلق إلى أعلى خلال القشرة الأرضية على شكل صهارة. وفوق البقع الحارة تنثور براكين نشطة على سطح الأرض. وتقع البراكين على الألواح المتحركة التى تحملها بعيدا عن منبع بقعها الحارة. وهذه العملية تشكل خطوطا من براكين خامدة على قاع المحيط، متدرجة من الأحدث إلى الأقدم حسب اتجاه حركة اللوح (الشكل ٢-١٥). وبمعنى آخر، تتزايد أعمار البراكين السابقة بزيادة المسافة بينها وبين البقعة الحارة.

وتتراوح طبقة الرواسب فى قاع البحر من الرقيقة جدا إلى لا شىء عند سلسلة الأعراف البركانية ويتزايد سمكها فى اتجاه حواف المحيطات (الشكل ٢-١٦). وكلما قدم قاع البحر، زاد الزمن الذى تتراكم فيه طبقة سميكة من الرمل والملح والصلصال والحفائر.

(*) نقطة (أو بقعة) ساخنة hot spot: منطقة انصهار محدودة فى الوشاح قرب قاعدة الليثوسفير. (ما هى الجيولوجيا؟- المترجم)

(**) الغلاف المتوسط mesosphere: طبقة قوية ثخينة مفروض وجودها بين الغلاف الضعيف واللب الحديدى المركزى. (معجم الجيولوجيا- المترجم)

زيادات نمطية فى أعماق قيعان البحار

وفوق سلسلة أعراف المحيط يكون عمق الماء ضحلا نسبيا . وعلى أية حال، كلما ابتعدنا تدريجيا عن سلسلة الأعراف يزداد عمق الماء بانتظام مع زيادة عمر قاع البحر (الشكل ٢-١٦). وهذا يرجع إلى: (١) برودة قشرة المحيط وما ينتج عنها من زيادة فى الكثافة، (٢) الهبوط التوازنى نتيجة ثقل وزن الرواسب المترسبة فى قاع البحر، (٣) إضافة المعادن العالية الكثافة إلى قاعدة لوحة القشرة الأرضية. ومن شأن العمق التدريجى فى قاع البحر مع الزيادة فى العمر كذلك أن يؤكد فكرة انتشار قاع البحر.

توافق القارات

إذا كانت القارات حقا تنجرف متباعدة فيمكننا الحصول على خريطة ونقطع القارات لكى نصنع منها لغزا بالقطع ثم نعيد تجميعها فى شكلها السابق. والواقع أن ذلك العمل يمكن تحقيقه إذا علمنا أين نقطع الخريطة. وفى خرائط العالم ذات البعدين تشغل اليابسة حوالى ٢٩٪ من سطح الأرض والباقي وقدره ٧١٪ تقريبا تشغله المحيطات. فإذا قطعنا أجزاء اللغز على خطوط السواحل الفاصلة بين اليابسة والماء ثم حاولنا تجميعها فلن يكون التوافق جيدا. وتقع المشكلة هنا فى أن الحد الحقيقى ليس بين اليابسة والماء، بل يقع بدلا من ذلك بين الحواف الحقيقية للقارات - الانتقال بين الصخور القارية القليلة الكثافة إلى الصخور المحيطية العالية الكثافة. وهذا الانتقال يحدث على عمق ١٨٠٠ متر (٦٠٠٠ قدم). فإذا أزلنا المحيطات وجدنا أن الكتل القارية تغطى ٤٠٪ من سطح الأرض وتغطى الأحواض المحيطية الأخرى ٦٠٪ الباقية. فإذا قطعنا أجزاء اللغز على خط على عمق ١٨٠٠ متر، فإن أجزاء لغز القارات توافق بعضها تماما. وهناك بعض الثغرات والتغطيات التى تفسر منطقيا بتغيرات فى أثناء ٢٢٠ مليون سنة الأخيرة، منذ الانشطار الأخير الكبير للقارات. ومن أمثلة التغيرات، التشوه فى أثناء عملية الانشطار ونمو دالات الأنهار والبراكين وكتل الشعب المرجانية، وتحات القارات، وحركات الأرض.

وبإزالة آثار انتشار قاع البحر فى ٢٢٠ مليون سنة الأخيرة تعود قارات اليوم إلى وضعها فى القارة العملاقة بنجايا (الشكل ٢-١٧).

نظرية التوحد الكبير

يوضح الشكل (٢-١٨) جزءاً من العالم وكيف تعمل الطبقات الخارجية للأرض اليوم بعد ٢٢٠ مليون سنة فى الجولة الأخيرة من نشاط الألواح التكتونية. وترتفع الصحارة من باطن الأرض. ويؤدى تعاظم الصحارة والحرارة إلى اتساع وارتفاع التضاريس الطبوغرافية للقشرة العليا/ القارية التى تتكسر بسبب الارتفاع وتبدأ فى التباعد عرضياً بفعل الجاذبية. ويؤدى التباعد إلى تقليل الضغط على صخور النطاق الانسيابى الفائق الحرارة الذى يسيل ويرتفع إلى أعلى ليملاً الشقوق ويبنى قشرة محيطية جديدة عن طريق انتشار قاع البحر. وباستمرار ارتفاع سلسلة الأعراف البركانية يتشكل موقع للجاذبية ويستمر سحب المواد إلى أسفل وإلى الخارج (الانتشار). وتساعد خلايا الحمل الحرارى فى الوشاح على الانتشار العرضى، حيث ترتفع الحرارة وتتحرك عرضياً تحت القشرة الأرضية قبل أن تهبط. وربما يولد تدفق الحرارة بالحمل الحرارى قوى ساحبة للألواح التى تعلوها. وعندما تنتشر القشرة الأرضية وتبرد وتصبح أعلى كثافة تنجذب بقوة أشد بفعل الجاذبية. وعندما يصطدم لوح القشرة المحيطية بلوح آخر ينضوى اللوح الأثقل والأكثف (والأقدم والأبرد) تحت اللوح الأخف (والأصغر والأدفأ) فى عملية الانضواء. وعندما تنضوى الحافة القائدة للوح المنضوى السلبى الطفو تزيد الجاذبية من قوة سحبها لتساعد على تمزق الحافة الخلفية للوح بعيداً عن مركز الانتشار. وتتجمع قوة حقن الصحارة فى مركز الانتشار (دفع سلسلة الأعراف) مع قوة سحب الجاذبية للوح الأكثف المنضوى فى منطقة الانضواء (سحب اللوح) بالإضافة إلى الحمل الحرارى فى الوشاح (سحب الوشاح) لتحافظ على استمرار حركة لوحات القشرة الأرضية. وبهذا تعمل الدورة التكتونية باستمرار، حيث يحفز كل جزء متحرك الأجزاء الأخرى على الحركة ويحافظ عليها فى

عملية إعادة الدورة على نطاق واسع ومدى زمنى طويل. وتتمثل (تهضم) المادة المكونة للوح المنضوى فى الوشاح، حيث تسيل وتنتظر دورها فى التدفق إلى أعلى نحو السطح لتتصلب كجزء من لوح جديد فى القشرة الأرضية. وصارت حركة الألواح الآن واضحة المعالم بسبب السجل المغنطيسى لصخور قاع البحر؛ إذ لم تحدد أبعاد الألواح فحسب؛ بل حددت كذلك معدلات حركاتها (الشكل ٢-٧).

وفكرة الألواح التكتونية واحدة من أعظم الأفكار العلمية فى جميع العصور؛ إذ زودتنا بأفكار جديدة عن الأرض تختلف تماما عما توصلنا إليه فى حياتنا أو فى خبرتنا التاريخية. ونظرا إلى أن الأرض أقدم بكثير وأوسع بكثير من الإنسان؛ فيجب علينا أن ننحى جانبا زمننا الشخصى ومقاييس حجمنا. فحياتنا تقاس بالعقود، ومقاييس أطوالنا الشخصية تقاس بمقياس من ٥ أقدام حتى ٦؛ وبهذه المراجع الإرشادية يحار فهمنا فى مقاييس الأرض. وعلى أية حال، إذا استبدلنا مفاهيمنا الزمنية بملايين ومليارات السنين ومقاييس أحجامنا بالقارات والألواح، فحينئذ فقط يبدأ فهمنا للأرض. فاللوح النشط ربما يتحرك ١ سم (٤، ٠ بوصة) فى السنة؛ أى ٧٥ سم (٣٠ بوصة) فى عمر الإنسان. فمعدل تحرك اللوح يقارن بمعدل نمو أظافر الإنسان.

ومن واقع عمر الإنسان، كيف يفسر المرء بناء الجبال أو تشكيل أحواض المحيطات؟ ربما يلوح المرء بذراعيه وينطق بعبارات فظة تعبيرا عن الاضطرابات الكارثية الكبيرة أو الفرق الجماعى والأحداث الخيالية التى تبدل الإحساس. ولكن عندما تقاس الأرض بمقاييسها الذاتية تصبح حركة سنتيمترا واحدا فى السنة عشرة كيلو مترات (أكثر من ٦ أميال) فى مليون سنة. وعملية السنتيمتر فى السنة تبلغ من السرعة ما يجعلها ترفع جبلا فى مدة صغيرة من الزمن الجيولوجى. ولكى نفهم كيف تعمل الأرض يجب أن نفكر فى التغيرات الصغيرة المتكررة التى تحدث فى مدد طويلة من الزمن لإنشاء تضاريس كبيرة مثل الجبال. وهذا النمط من التفكير يهدف إلى فهم القوانين الطبيعية والعمليات النشيطة على الأرض وفى باطنها اليوم، وإلى استخدام

هذه المعرفة لقراءة تاريخ الأرض المسجل فى الصخور والحفائر. وهذه الفكرة تسمى فكرة تماثل قوانين الطبيعة (نظرية الوتيرة الواحدة) (*).

الزلازل والألواح التكتونية

يمكن تفسير الغالبية العظمى من الزلازل استنادا إلى نظرية الألواح التكتونية. فالقشرة الأرضية تنقسم إلى ألواح صلبة تتحرك متباعدة أو متقاربة أو تنزلق عبر ألواح صلبة أخرى. وهذه العمليات التى تحدث على مستوى الأرض يمكن رؤيتها على الأرض على شكل صدوع فردية حيث تنشق الأرض ويتحرك كل جانب غير الجانب المقابل محدثة الزلازل. والشكل ٢-١٩ يوضح لوحا تكتونيا نموذجيا ويقدر المخاطر المتنوعة للزلازل التى تتركز فى حواف اللوح:

١ - فحركة التباعد فى مراكز الانتشار تؤدى إلى وقوع الصخور تحت الإجهاد. فالصخور تتشقق بمجرد خضوعها للإجهاد. ولهذا تنتج عنها أساسا زلازل صغيرة لا تشكل خطرا كبيرا للإنسان.

٢ - وتحدث حركة الانزلاق عندما تتمزق الألواح الصلبة وتدور حول الأرض الكروية. وتنزلق الألواح مقابل بعضها البعض فى حركات أغلبها أفقيه فى الصدوع التحويلية (صدع محول) (**). وهذه العملية تنتج عنها زلازل كبيرة حيث حدود اللوح غير المنتظمة تؤخر الانزلاق بسبب عدم انتظام الحواف على طول الصدع. وتستنفذ قدرا كبيرا من الطاقة المخزونة للتغلب على السطوح الخشنة والصخور غير المنزلقة والثنيات فى الصدوع. وعند التغلب نهائيا على هذه العوائق يتحرر جزء كبير من الطاقة الزلزالية.

(*) نظرية الوتيرة الواحدة، نظرية هاتون Uniformitarianism: الحاضر مفتاح للماضى، أى أننا يمكننا أن نفسر التاريخ الجيولوجى فى ضوء ما نعرفه عن الحاضر. (ما هى الجيولوجيا؟- المترجم)

(**) صدع محول transform fault: صدع انزلاقى مضربى (جانبي أو أفقى) يميز الحيوذ الوسط محيطية وعبره تتوازن الحيوذ (ربما عن طريق توسع قاع المحيط). (ما هى الجيولوجيا؟- المترجم)

٣ - وحركات التقارب التى تحدث عند نطاقات الانضواء وفى تصادم قارة بقارة تختزن مقادير هائلة من الطاقة التى تتحرر فى أكبر الزلازل التكتونية فى الأرض. وعمليات سحب الألواح المحيطية التى يبلغ سمكها ٧٠-١٠٠ كم (٤٥-٦٠ ميلا) إلى الوشاح فى نطاقات الانضواء أو عمليات تصادم القارات مع بعضها البعض- مثل ارتطام الهند بآسيا لترفع جبال هيمالايا - تحتوى على طاقة هائلة لا تكاد تصدق. وينتج عن ذلك أكبر الزلازل فى الأرض.

ولنتقل الآن من اللوح النموذجى لنتفحص أحد الألواح الواقعية وهو لوح المحيط الهادى؛ إذ يوضح الشكل (٢-٢٠) نفس النموذج لعمليات حافة اللوح والزلازل المتوقعة. فتكون لوح المحيط الهادى عند مركز الانتشار على طول حوافه الشرقية والجنوبية. فالحركة فيها تحدث زلازل صغيرة تقع بعيدا عن المناطق الكبرى المأهولة بالسكان.

وتحدث حركات الانزلاق على طول الصدوع التحويلية: (١) فى شمال شرقى المحيط الهادى فى صدع كوين شارلوت، الواقع بالقرب من إقليم نادر السكان فى كندا، (٢) على طول صدع سان أندرياس فى كاليفورنيا بزلزله المشهورة، (٣) وفى الحافة الجنوبية الغربية للمحيط الهادى حيث يقطع صدع ألباين الجزيرة الجنوبية فى نيوزيلاند (الشكلان ٣-٥ و ٣-٦).

وينضوى لوح المحيط الهادى على طول حوافه الشمالية والغربية محدثا زلازل هائلة، مثل حادث ألاسكا فى عام ١٩٦٤ وزلزال طوكيو فى ١٩٢٣، وزلزال نابير فى الجزيرة الشمالية فى نيوزيلاند.

ويتركز اهتمامنا هنا على فهم آثار حواف اللوح باعتبارها وسيلة للتنبؤ بأمكان الزلازل المحتمل وقوعها وبأحجامها النسبية.

ملف الصور: الأرض كوكب نشيط

الأرض كوكب نشيط تغذيه مصادر متنوعة من الطاقة. وتحدث الكوارث الطبيعية حيث يعمل الإنسان وتقع مبانيه فى طريق القوى التى تحركها الطاقة.

وتتدفق الطاقة من باطن الأرض ومن الشمس ومن الجاذبية ومن الارتطام بمذنبات وكويكبات أخرى.

ويحتفظ باطن الأرض بمخزون هائل من الحرارة الناجمة عن الارتطامات الأولية التي شكلت كوكبنا هذا، ومن الحرارة المنبعثة عن الخمود الجارى للعناصر المشعة. وتتدفق الحرارة من باطن الأرض إلى سطحها وتغذى الثورات البركانية والزلازل بالطاقة.

والطاقة الخارجية تستمدّها من الشمس. وحوالى ٢٣٪ من أشعة الشمس القادمة إلى الأرض تستخدم فى تبخير ورفع الماء إلى الغلاف الجوى لى تبدأ الدورة المائية. وهذه الأبخرة تعود على شكل ثلج ومطر وتؤدى إلى حدوث المثالج والأنهار والفيضانات كذلك. وحرارة المحيطات والغلاف الجوى غير المتوازنة عند قطبي الأرض ومقابل خط الاستواء تؤدى إلى اختلاف فى كثافة الماء والهواء اللذين تؤثر فيهما الجاذبية فيؤثران بالتالى على الطقس شاملا العواصف والرياح العنيفة وأمواج المحيطات. وتُخْتَرَن كذلك الطاقة الشمسية فى أنسجة النباتات لتتحرر منها عند الحريق.

وتجذب الجاذبية كل شىء - كتل الهواء وماء المحيط والأنهار والمثالج وانزلاقات التلّول الثلجية والأرضية.

وترتطم المذنبات والكويكبات التى تدور فى مداراتها بسرعة تزيد عن ٢٠,٠٠٠ كم/ساعة أحيانا بالأرض، ولارتطامها العميق آثار على الكرة الأرضية.

(انظر الصور من ١ إلى ١٢ ص ١٤٥ إلى ١٥٦).

الزلازل ومراكز الانتشار

كشف البحث عن مواقع المراكز السطحية حول الأرض (الشكل ٢-١٣) عن أن الزلازل ليست شائعة بالقرب من مراكز الانتشار بقدر شيوعها عند الصدوع التحويلية

وعند مناطق الانضواء/ التصادم. فالكتل المتضخمة من الصخور الدافئة فى منظومات سلاسل أعراف المحيطات تحتوى على حرارة أعلى وبالتالي تقل صلابتها. وهذه الحرارة التى تضعف الصخور لا تزيد أو تختزن الإجهادات الضخمة اللازمة لإحداث زلازل كبير.

آيسلاند

ويمكن تقدير نموذج لزلازل مراكز الانتشار إذا نظرنا إلى تاريخ الزلازل فى آيسلاند، الدولة التى تعيش منعزلة فوق جزيرة بركانية تغذيها البقع الحارة فى جزء من مركز انتشار سلسلة أعراف منتصف المحيط الأطلنطى (الشكلان ٢-٢١ و ٢-٢٢). وأفاد عالم الجيولوجيا الآيسلندى آر ستيفانسون بأن الزلازل الكارثية فى آيسلاند تحدث فى أجزاء من البلاد تقع تحتها مراكز انتشار تتجه شمالا وجنوبا حيث تتجمع الإجهادات وتسبب زلازل لا تقل قوتها عن ٥ بمقياس ريختر. وهذه الزلازل المتوسطة الحجم تحدث بأعداد كبيرة كما هو الحال فى المناطق البركانية حيث تكون الصحارة فى سبيلها إلى الخروج. وتحدث فى آيسلاند زلازل بقوة ٧ ولكنها مرتبطة بمنطقة الصدوع التحويلية المتجهة شرقا وغربا بين أقسام مركز الانتشار (الشكل ٢-٢٣).

البحر الأحمر وخليج عدن

تكونت آيسلاند على مركز انتشار ناضج ظل يعمل فى توسيع حوض شمالى المحيط الأطلنطى منذ حوالى ١٨٠ مليون سنة. فما شكل مركز انتشار شاب وحوض محيطى جديد؟ طويل وضيق. ففى عالم اليوم تقع أحواض المحيطات الطويلة والضيقة فى شمال شرقى أفريقيا والبحر الأحمر وخليج عدن (الشكل ٢-٢٤). فالجزء الشمالى الشرقى من أفريقيا يقع فوق منطقة فائقة الحرارة من الوشاح العلوى. والحرارة الواقعة داخل هذه المنطقة الحارة من الوشاح، مقيدة جزئيا بتأثير التغطية العلوية للوح أفريقيا والقارة الواقعة عليه (الشكل ٢-٢٥). ويتضخم الصخر الحار فى الحجم

ويسيل ليصبح صحارة. ويؤدي تضخم الحجم إلى تقبب الصخور العليا وارتفاع السطح ليكون تضاريس (الشكل ٢-٢٥ب). ويساعد الارتفاع المقبب الجاذبية على سحب الكتل الصخرية المرتفعة إلى أسفل وإلى الخارج صانعا صدوعا عادية ذات أودية أخدودية مركزية منحدرية، تدعى كذلك الأحواض المتباعدة (الشكل ٢-٢٥ج). وكلما اتسعت الشقوق/ الصدوع ارتفعت الصحارة من الشروخ لتكون بركانا. وكلما استمرت الأخاديد والبراكين، زادت عمليات انتشار قاع البحر فيمتلئ الوادي الأخدودي المنحدر بماء المحيط وهنا يولد بحر جديد (الشكل ٢-٢٥د).

ويظهر الشكل (٢-٢٤) أحد المعالم الجيولوجية المهمة الأخرى. فهناك ثلاثة أحواض متباعدة تتلاقى عند الطرف الجنوبي من البحر الأحمر في نقطة اتصال ثلاثية، وهي النقطة التي تتلاقى فيها ثلاثة ألواح. بدأ تركيز الحرارة في أعلى الوشاح في تشكيل هذه الوصلة الثلاثية؛ إذ انبجج سطح الأرض إلى أعلى على هيئة قبة مما أدى إلى كسر الصخور العليا على شكل دائري (الشكل ٢-٢٦). وتُباعد الجاذبية بين أجزاء القبة فتطفح الصحارة لتملا ثلاثة كسور كبرى؛ وهنا تبدأ عملية الانتشار.

ونقطة الاتصال الثلاثية في شمال شرقي أفريقيا شابة جيولوجيا، إذ بدأت تتشكل منذ حوالي ٢٥ مليون سنة. وحتى الآن انتشر البحر الأحمر وخليج عدن بالقدر الكافي الذي يسمح بشق شمال شرقي أفريقيا وتكوين لوح الجزيرة العربية والسماح لماء البحر بالتدفق بينهما. ولكن وادي الأخدود في شرقي أفريقيا لم يتسع بالقدر الكافي لكي يسمح للبحر بملئه (الشكل ٢-٢٧). فوادي الأخدود في شرقي أفريقيا أحد الظواهر الجغرافية الطبيعية المهمة. فطوله ٥٦٠٠ كم (٣٥٠٠ ميل) وله جروف منحدرية ووديان عميقة. ويبدأ بمثلث أفار عند حافته الشمالية وتمتد جنوب غربيه هضبة أثيوبيا الممتدة والمقيبة ثم ينقسم بعدها وادي الأخدود إلى فرعين رئيسيين. والأخدود الغربي مقوس بشكل ملحوظ وبه عدد كبير من البحيرات العميقة بما فيها ثمانية أعماق بحيرة في العالم وهي بحيرة تنجانيقا. والأخدود الشرقي أكثر استقامة ويضم بحيرات قلووية ضحلة وقمما بركانية، مثل قمة جبل كيليمانجارو أعلى جبال أفريقيا. ويحتوي الوادي الأخدودي على أقدم حفائر بشرية وجدت حتى الآن؛ وربما كانت موطننا للإنسان الأول. فهل يستمر الانتشار بما يسمح بفصل لوح الصومال عن أفريقيا؟ لا يزال الأمر مبكرا للإجابة عن هذا السؤال.

ما هو مقدار الزلازل فى البحر الأحمر وخليج عدن الشابين بالمفهوم الجيولوجى؟
هذا أمر مهم، ولكن زلازل مراكز الانتشار ليست فى حجم الزلازل التى تقع عند حواف
النماذج الأخرى من الألواح.

الزلازل ومناطق التلاقى

تحدث أقوى الزلازل فى العالم حيث تتصادم الألواح. وهناك ثلاثة أنواع رئيسية
من التصادم: (١) لوح محيطى بلوح محيطى. (٢) لوح محيطى بلوح قارى. (٣) لوح
قارى بلوح قارى. ويحدث نتيجة لهذه التصادمات إما انضواء أو ارتفاع قارى؛
إذ تتركب حافة اللوح الأصغر عمرا(*) والأدفاً والأقل كثافة فوق اللوح الأقدم عمرا والأبرد
والأعلى كثافة الذى ينثنى إلى أسفل وينسحب داخلا الوشاح. فإذا كانت القارة
مشتركة فلا تنضوى بسبب حجمها الكبير وكثافتها القليلة وصخورها الأكثر طفوا
لا تغطس إلى العمق الكبير ولا تنسحب داخل صخور الوشاح الأعلى كثافة والواقعة
أسفلها. ومصير ألواح المحيطات الدمار عن طريق الانضواء والذوبان داخل الوشاح؛
بينما تطفو القارات على الدوام فوق النطاق الانسيابى. والقارات تنفصل ثم تتجمع فى
أشكال أخرى عن طريق التصادم، ولكنها لا تتدمر بالانضواء (الغطس).

مناطق الانضواء (الغطس)

تعتبر مناطق الانضواء (الغطس) مواقع للزلازل القوية. تخيل عملية سحب لوح
صلد سمكه ١٠٠ كم (٦٢ ميلا) فى صخور ضعيفة قابلة للتشوه فى الوشاح تقاوم

(*) أرى أن اللوح الراكب هو اللوح الأقدم عمرا؛ يقول د. مصطفى محمود سليمان فى كتابه الزلازل، الألف كتاب
الثانى ٢٣٩ - الهيئة العامة للكتاب ١٩٩٦، ص ٢١٢: «دلت دراسات تقارير أعمار الصخور بالنظائر
المشعة على أن صخور قيعان المحيطات أحدث عمرا من صخور القارات، فصخور قيعان المحيطات
يقدر عمرها بمئات الملايين من السنين بالمقارنة مع بلايين السنين كعمر لصخور القارات». (المترجم)

اقتحام اللوح. وهذه العملية تقوم بتخزين طاقة هائلة تنطلق على مراحل على هيئة زلازل؛ إذ يحدث الانضواء على نطاق واسع. ففي المعدلات الحالية للانضواء تنسحب الألواح المحيطية بمساحات تعادل مساحة سطح الأرض بأكملها في الوشاح في مدة قدرها ١٨٠ مليون سنة فقط.

واللوح الغاطس من قشرة المحيط يحدده سطح مائل للبؤر العميقة (الشكل ٢-١٤). وتحدث الزلازل في مناطق الانضواء من نماذج مختلفة من حركات الصدوع في الأعماق الضحلة مقابل المجالات العميقة. وفي الأعماق الضحلة (الأقل من ١٠٠ كم أو ٦٢ ميلا)، يندفع اللوحان الصلبان من ألواح القشرة الأرضية الصلبة ضد بعضهما البعض. وتحدث الزلازل نتيجة حركات تضاغية حيث يتحرك اللوح العلوى الراكب إلى أعلى، بينما يتحرك اللوح المنضوى إلى أسفل. وتحدث كذلك حركات الصدوع المتباعدة بالقرب من السطح في اللوح المنضوى عندما ينثنى إلى أسفل وينهار انهيارا توتريا، وعندما يرتفع اللوح العلوى الراكب عن مستواه. لاحظ في الشكل (٢-١٤) أن الزلازل الضحلة تحدث: (١) في الجزء العلوى من اللوح المنضوى، (٢) عند انثناء اللوح المنضوى، (٣) في اللوح الراكب.

قارن أوضاع البؤر الضحلة بالبؤر المتوسطة والعميقة (الشكل ٢-١٤). ففي الأعماق الأسفل من ١٠٠ كم تحدث الزلازل تحديدا في داخل القشرة المحيطية الأبرد، قلب اللوح المنضوى. وتعمل الحرارة العالية في صخور الوشاح الأعلى على إخضاعها للضغط وبذلك لا تتجمع الطاقة المخزونة اللازمة لإحداث الزلازل العملاقة. وفي العمق تصبح الأسطح العليا والسفلى للألواح المنضوية دافئة بقدر لا يقوى على توليد زلازل كبيرة. وعلى هذا، تحدث الزلازل في المناطق الداخلية الأبرد في الصخور الصلبة حيث يختزن الجهد وتسحب الجاذبية ضد مقاومة الوشاح لانضواء اللوح واختراقه. وفي مناطق الانضواء الأسرع ربما يظل اللوح المنضوى الغاطس محافظا على صلابته بما يكفي لحدوث زلازل في عمق يزيد عن ٧٠٠ كم (٤٣٥ ميلا). والزلازل القوي ذو البؤرة العميقة يتبدد جزء كبير من طاقته الزلزالية وهو في طريقه إلى السطح. ولهذا فإن الكوارث الكبرى تحدث من الزلازل الكبرى ذات البؤر الضحلة.

وتحدث معظم زلازل منطقة الانضواء اليوم حول حافة المحيط الهادى. ويتضح هذا من وجود معظم خنادق أعماق المحيط وبتركيز الكثيف للمراكز السطحية (الشكل ٢-١٣). ويوضح الشكل (٢-٢٨) منطقة ألواح الانضواء فى المحيط الهادى وأوضاع ومدى تكرار ومناطق الشعور العنيف ببعض الزلازل الحديثة. وإذا نظرت إلى هذا الشكل فأين تتوقع حدوث الزلازل الكبرى الآتية؟ وأكثر الوسائل تنبؤاً بالزلازل تشرحها طريقة الثغرة الزلزالية.

طوكيو فى اليابان فى ١٩٢٣

فى الصباح الباكر من يوم السبت الموافق ١ سبتمبر ١٩٢٣ عصفت الموجات الأخيرة من عاصفة ضعيفة بمدينتى طوكيو ويوكوهاما. وفى الضحى صفت السماء وسطعت الشمس بينما كان المواطنون يعدون وجبة الغداء. وبعد لحظات تبدد ذلك المشهد المطمئن بسلسلة فتاكة من الزلازل. وحدثت الصدمة الرئيسية بقوة ٨ر٢ تحت خليج ساجامى فى الجنوب الغربى من هاتين المدينتين الكبيرتين. وهبط قاع خليج ساجامى بشدة فاندفعت موجات زلزالية بحرية ارتفاعها ١١ متر (٣٦ قدما) تسمى الموجات السنامية(*) وضربت الشاطئ.

واجتاحت الأمواج مئات المنازل. ولكن الصيادين الذين أمضوا يومهم بعيدا عن الشاطئ فى عرض البحر لم يعلموا شيئا عن هذه الأمواج الشيطانية. وفى نهاية اليوم قفلوا راجعين إلى الشاطئ عبر خليج ساجامى، وكاد يغشى عليهم عندما شاهدوا حطام منازلهم وأجساد عائلاتهم طافية. كان الدمار على الأرض عظيما؛ إذ دمرت المنازل وسقطت الجسور وانهارت الأنفاق ودمرت الانزلاقات الأرضية المنحدرات بما تحمل من غابات ومدرجات سفوح التلال المعدة للزراعة. وأعقب الدمار الذى حاق بمبانى طوكيو ويوكوهاما من جرأء الهزة الأرضية حرائق. فتسببت الهزة فى انهيار المواد

(*) الأمواج التسونامية أو السنامية Tsunami: كما يطلق عليها اليابانيون، أكثر الناس تضررا من ويلاتها، وهى مرتبطة بوقوع الهزات الزلزالية. (هميمى- الزلازل، ص ١٢٣- المترجم)

المنزلية القابلة للاشتعال فى المطابخ فامتدت ألسنة اللهب التى انطلقت دون أية سيطرة عليها فى كلتا المدينتين. وعجزت وسائل الإطفاء عن التدخل لوقف انتشار الحرائق نظرا إلى تحطم مصادر الماء بفعل الزلزال. وأدت الرياح المتقلبة إلى دفع النيران داخل طوكيو لمدة يومين ونصف، مدمرة ٧١٪ من منازل المدينة. وأتلف هذا الجحيم أحشاء المدينة بنسبة ١٠٠٪.

وربما كانت أبشع مأساة فى هذه الكارثة هي التى حدثت عندما احتضن ٤٠٠٠٠ شخص ممتلكاتهم الشخصية وحاولوا الهروب من اللهب فاحتشدوا فى حديقة مساحتها ٢٤٠ إيكرا (*) (فدان تقريبا) يمتلكها أحد الأثرياء من أصحاب البنوك على ضفة نهر سوميدا. وقد حشد الناس أنفسهم فى هذا الفراغ المفتوح حتى أصبحوا غير قادرين على الحركة. وفى الساعة الرابعة مساءً أى بعد بضع ساعات من الزلزال حاصرت النيران المزمجرة هذا الحشد من الجهات الأرضية الثلاث. وأحدثت الرياح التى رفع الحريق حرارتها إعصارا قمعيا حمل النار وأفرغها فوق الجموع المحتشدة وممتلكاتهم القابلة للاشتعال. وبعد خمود الحرائق قتل ٢٨٠٠٠ شخص بين محروق بالنيران ومخنوق بالدخان. وكان التصرف الغريزى المعتاد باللجوء إلى الأرض الفضاء أثناء الكارثة خاطئا بشكل مذهل.

واجتمعت قوى الزلازل والأمواج البحرية الزلزالية والحرائق فقتلت ٩٩٣٣١ شخصا وظل ٤٣٤٧٦ شخصا آخرين مفقودين وفى عداد الأموات. وفى طوكيو فقدت السجلات النادرة التى لا تعوض ودمرت ثروة من التراث الفنى المجمع على مدى ٢٠٠٠ سنة. ولكن رغم هذه الكارثة الهائلة ظلت الروح المعنوية للشعب اليابانى عالية. فقد تعلموا من الكارثة؛ إذ أعادوا بناء مدنهم بشوارع أوسع وفضاء أرحب واستخدام أقل لمواد قابلة للاشتعال فى البناء.

فمتى يضرب الزلزال القوى القادم؟ يساعدنا الشكل (٢-٢٨) على تقدير إطار عام؛ فربما ملئت الثغرة فى التاريخ الزلزالى فيما بعد. ويعلمنا كذلك السجل التاريخى

(*) الإيكرا acre = ٤٠٤٧ متر مربع أى فدان تقريبا. (المترجم)

للزلازل فى الإقليم. فالإقليم الواقع على بعد ٨٠ كم (٥٠ ميلا) فى الجنوب الغربى لطوكيو ضربته خمسة زلازل قوية جدا على مدى ٤٠٠ سنة. فالزلازل تحدث بالتقريب كل ٧٣ سنة وآخرها كان فى عام ١٩٢٣.

شيلى فى عام ١٩٦٠

وقع أقوى الزلازل الذى سجلته جميع الأجهزة على الإطلاق فى يوم ٢٢ مايو ١٩٦٠ فى جنوبى شيلى. أفادت حسابات لحظة الزلزال للزلزال الرئيسى بأن قوته ٩,٥ بمقياس ريختر (الشكل ٣-٣١). وبمقارنته بنفس الحسابات بزلزال سان فرنسيكسو فى عام ١٩٠٦ تبين أن الأخير كانت قوته ٧,٩ بمقياس ريختر. ولكى نقدر الفوارق حق قدرها بين الطاقة المتحررة فى كلتا الحالتين علينا أن ننظر إلى الشكل (٢-٢٩). فزلزال الصدع التحويلى فى أول الأمر يؤثر على المنطقة العنيفة الواقعة على قسم الصدع الذى يتحرك. وعلى أية حال، كانت أحداث شيلى ١٩٦٠ ذات حركة سفلية للوح محيطى منضو بحيث أنه بعد عدة أيام غطى منطقة طولها ١٠٠٠ كم (٦٢٠ ميلا) وعرضها ٣٠٠ كم (١٨٠ ميلا). وكانت مساحة المنطقة الغاطسة تماثل مساحة كاليفورنيا طولاً وعرضها تقريبا. ويوضح الشكل (٢-٢٩) بوضوح العدد الكبير والتوزيع الواسع للصدمات الإنذارية المدمرة والصدمات التابعة. ومن هذه الصدمات الإنذارية الكبيرة ما حدثت فى الساعة ٢,٤٥ بعد الظهر فى يوم الأحد ٢٢ مايو فتدفق الناس الذين أحسوا به إلى الشوارع. وكان من حظهم السعيد أن انطلقت الموجة الرئيسية بعد ٣٠ دقيقة حيث انهارت معظم المنازل وسكانها لا يزالون يتحدثون فى الشوارع.

وليست زلازل شيلى نادرة ولا صغيرة. ففي يوم ٢٠ فبراير ١٨٣٥ كان تشارلز داروين فى شيلى أثناء رحلته الأسطورية على متن سفينة جلالة الملك بيجيل وعاش أحداث زلزال كبير. فوصفه الدقيق لمساحات كبيرة من الأرض ارتفعت فوق منسوب البحر والأمواج البحرية العملاقة تضرب الشاطئ وبركانين ثارا كان وصفا رائعا وما زال تعليميا حتى يومنا هذا.

مناطق تصادم قارة بقارة

وأعظم مباراة تضاغطية فى العالم الحديث ما يجرى من نطح الهند لآسيا. فعندما تفككت جوندوانالاند تحركت الهند شمالا فى اتجاه آسيا. فقاع البحر (اللوح المحيطى) البالغ طوله ٥٠٠٠ كم (أكثر من ٣٠٠٠ ميل) الواقع فى طريق المسار الشمالى للهند انضوى تحت آسيا منذ حوالى ٤٠ مليون سنة. وحين لم يتبق قاع بحر يفصلهما نخست الهند الجزء المعرض من البطن لقارة آسيا (الشكل ٢-٣٠). ومنذ الاتصال الأول ظل الاقتحام مستمرا فتحركت الهند ٢٠٠٠ كم (١,٢٥٠ ميلا) أخرى إلى الشمال. ودخل ١٠٠٠ كم من الهند تحت آسيا وسكنت ١٠٠٠ كم أخرى فى الطبقة العلوية الراكبة والتعشق بين القارتين عن طريق صدع دسرى(*) فى الكتلة الضخمة لجبال هيمالايا وهضبة التبت. وبلغ سمك طبقة القشرة قبل الاصطدام لكل من الهند وآسيا حوالى ٣٥ كم (٢٢ ميلا). والآن بعد الاصطدام زاد سمك القشرة المشتركة إلى ٧٠ كم (٤٤ ميلا) لتشكل أعلى منطقة قارية على سطح الأرض. فهضبة التبت تفوق كل ما عداها من الكتل الأرضية العالية.

ففى منطقة تبلغ مساحتها مثل مساحة فرنسا يزيد متوسط ارتفاعها عن ٥٠٠٠ متر (١٦٥٠٠ قدم). ولكن ما شأن هذا كله بالزلازل؟ ففى كل عام تستمر حركة الهند حوالى ٥ سم (٢ بوصة) داخل آسيا على امتداد جبهة طولها ٢٠٠٠ كم (١,٢٥٠ ميلا). وهذا الارتطام الجارى يضرب مساحة كبيرة بزلزل قوية. وتشمل المنطقة المتأثرة بها الهند وباكستان وأفغانستان وهضبة التبت وجزء كبير من شرقى روسيا ومنغوليا ومعظم الصين. وهذه تجربة بسيطة نسبيا توضح كيف يسبب تصادم القارات صدوعا تولد الزلازل (الشكل ٢-٣١). وتستخدم التجربة دعامة تدفع فى كومة من الطين الصلصالى فتشوهها بالقوة. والتشوه الناجم عن التجربة مماثل للخريطة التكتونية لإقليم الهند - آسيا (الشكل ٢-٣٢). فاندفاع الهند فى اتجاه الشمال يضطر الهند الصينية إلى الهروب إلى الجنوب الشرقى ويدفع جزء كبير من الصين إلى الشرق.

(*) صدع الدسر thrust fault: صدع نو زاوية ميل صغيرة ينشأ من الضغط الشديد الذى يؤدى إلى تحرك علوى للجدار المعلق بالنسبة للجدار السفلى. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

مقاطعة شآنكسى فى الصين فى عام ١٥٥٦

حدث أكثر الزلازل فتكا بالبشر فى التاريخ فى عام ١٥٥٦ عندما قتل ٨٣٠٠٠٠ صينى فى زيان وبالقرب منها على ضفاف نهر هوانج العظيم (الذى كان يعرف بالنهر الأصفر). وبالإقليم تلال متعددة تتكون من رواسب نزلتها الرياح من الغرين والمرل(*) وهى ذات تماسك قليل جدا وقدرة ضئيلة على الالتصاق ببعضها البعض. ونظرا إلى سهولة الحفر فى هذه الرواسب حفر المواطنون فيها كهوفا يسكنونها. وبينما كان معظم المواطنين فى بيوتهم (كهوفهم) فى الساعة الخامسة من صباح يوم ٢٣ يناير الشتوى، انبعثت من الزلزال الكبير موجات زلزالية. وأحدثت الهزة العنيفة فى رواسب الغرين والرمال بالإقليم هزة مزقتها وجعلتها أشبه شئ بالسائل. ودفن معظم سكان هذه الكهوف عندما تسيلت جدران منازلهم التى انهارت بعد أن كانت صلبة من قبل.

تانجشان فى الصين فى عام ١٩٧٦

حدث أحدث الزلازل فتكا بالبشر فى العصر الحديث تحت مدينة تانجشان مباشرة عندما انشق صدع على عمق ١١ كم (٧ أميال) استجابة للإجهاد الإقليمى الذى أحدثه التصادم الجارى للهند بآسيا، وكانت قوة الزلزال ٨,٧ بمقياس ريختر ولكن نظرا إلى أن التهديد بالزلازل لم يؤخذ مأخذ الجد، فكانت نماذج المباني لينة مما أدى إلى شدة فتك الزلزال. وهذا القرار الخاطئ كان سببا فى قتل ٢٤٢٤١٩ نسمة.

وفى عام ١٩٧٦ كانت تانجشان مدينة صناعية وغنية بالمناجم يسكنها مليون نسمة. ففيها أكبر مناجم الفحم فى الصين، ولهذا وجدت فيها الصناعات الثقيلة موقعا خصبا. وفيها تضافر استخراج الفحم مع صناعات الصلب والكهرباء ومحركات الديزل وقاطرات السكك الحديدية مجتمعة فى جعل إنتاجها يبلغ حوالى ١٪ من إجمالى الناتج

(*) طيس (لوس) loess: رواسب تتكون من حبيبات دقيقة جدا من الغرين والمرل ولونها أصفر، وهى ليست طباقية، وتكون تربة خصبة. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

الوطني في الصين. أما سكان تانجشان فكانت ليلة ٢٧ يوليو حارة على غير العادة حافلة بالأمطار والرياح. ولكن الأحداث الأكثر عجبا في تلك الليلة كانت كرات اللهب والبرق التي انطلقت في السماء في جميع ألوان طيف قوس قزح. وفي الساعة ٢,٤٢ من صباح يوم ٢٨ يوليو بدأت الأرض تدمدم حتى صار معظم المدينة حطاما. وكان معظم السكان في منازلهم المكتظة والمبنية باللبن المرصوص بملاط رديء النوع والمغطاة بأسقف من الطين والجير أضعفتها الطبقات المتراسة فوقها على مر السنين. وكانت المنازل أماكن غير آمنة في هذا اليوم حيث إنها ٩٣٪ منها، وكان حظ مباني المصانع أفضل؛ حيث انهار منها ٧٨٪ فقط. وعلى أية حال، كانت مقاومة المنازل القديمة أقوى من نظيرتها الحديثة. وكان بعض العمال الأوفر حظا هم عمال المناوبة الليلية في مناجم الفحم الذين يعملون على عمق آلاف الأقدام تحت سطح الأرض في أثناء الزلزال. ورغم أن ١٥٠٠٠ عامل بالمناجم ماتوا فكان حالهم أفضل من زملائهم العاملين بالمناوبة النهارية؛ إذ قتل ٦٥٠٠ عامل من مجموع ٨٥٠٠٠ عامل كانوا في الراحة خارج المناجم. وفي جميع الأحوال ظلت الروح المعنوية مرتفعة. وأعيد بناء تانجشان وعادت لتأوي أكثر من مليون مواطن، يعيشون الآن في مبان أفضل تصميمًا.

وطقس الزلزال مصطلح متداول بيننا؛ فهذه الفكرة ليست لها صلاحية، لأنه ليست هناك علاقة بين الطاقة المنطلقة من حركات الصدع على عمق عدة أميال تحت سطح الأرض وبين الطقس، الذي يتأثر بطاقة الشمس التي يستقبلها سطح الأرض. فمثلا، حدثت زلازل شائنكسي وتانجشان عندما كانت درجات الحرارة في الحالتين على طرفي نقيض (أحدهما شتوي والآخر صيفي).

لوح شبه الجزيرة العربية

بظهور مراكز الانتشار الشابة جيولوجيا في البحر الأحمر وخليج عدن انفصلت الحافة الشمالية الشرقية للقارة الأفريقية (الشكلان ٢-٢٧ و ٢-٢٣) ونشأ لوح شبه الجزيرة العربية. وبتحليل حركة لوح شبه الجزيرة العربية تتضح لنا رؤية ثاقبة في مختلف نماذج الزلازل.

الزلازل فى مناطق التصادم

ربما كانت منطقة البحر الأحمر وخليج عدن بعيدة عن كثير من الزلازل الكبيرة، ولكن انتشارها هو المسئول عن تعشق لوح شبه الجزيرة العربية فى أوراسيا محدثا عددا من الزلازل المدمرة هناك. فالصخور القارية الصلدة للوح شبه الجزيرة العربية تندفع كالإسفين فى البطن الصلبة لأوراسيا. وترفع قوة التصادم سلسلة جبال (مثل القوقاز وزاجروس فى الشكل ٢-٢٤) وتحرك كثيرا من الصدوع التى تولد براكين فتاكة يتميز بها هذا الجزء من العالم.

أرمينيا فى ديسمبر عام ١٩٨٨

الشتاء فى جبال القوقاز بارد. وفى صباح يوم الأربعاء الموافق ٧ من ديسمبر عام ١٩٨٨ بلغت درجات الحرارة التجمد. استيقظ ٧٠٠٠٠٠ نسمة يعيشون فى منطقة قطرها ٥٠ كم (٣٠ ميلا) بالقرب من سبيتاك فى أرمينيا ثم توجهوا إلى أعمالهم أو مدارسهم. وفى هذا الوقت هب الإقليم مأوى لعدد ١٠٠٠٠٠ لاجئ من المعارك مع أذربيجان؛ وكثير منهم كان يسكن فى مساكن متهاكة. وتغيرت كل مظاهر الحياة جذريا فى الساعة ١١, ٤١ صباحا عندما بدأت الأرض تتحرك لمدة حوالى ٣٠ ثانية من حركة الصدع الذى ولد زلزالا قوته ٦, ٩ بمقياس ريختر. وفى الساعة ١١, ٤٥ صباحا أضافت صدمة تابعة أخرى بقوة ٥, ٩ إلى الدمار واليأس. وفى خلال خمس دقائق فارق الحياة ٢٥٠٠٠ نسمة على الأقل وجرح أكثر من ٣١٠٠٠ نسمة بجروح خطيرة منهم ٤٠٠٠ فقدوا أطرافهم. وبلغت الخسائر فى المباني ذروتها بحيث ظل ٥٠٠٠٠٠ نسمة متروكين بلا مأوى، وترك الدمار الشامل أو الجزئى فى ٨٣ مدرسة و٨٨ روضة أطفال أعدادا لا حصر لها من الأطفال فى حاجة إلى رعاية طبية. ولكن هذه الموجات الزلزالية ذاتها دمرت كذلك ٨٤ مستشفى وقتلت وجرحت ٨٠٪ من الأطباء والممرضات فى الوقت الذى كان الموقف فى أشد الحاجة إليهم.

فما السبب فى هذا الزلزال؟ فشبه الجزيرة العربية تندفع تجاه أوراسيا بمعدل ٤,٥ سم (٨,١ بوصة) فى السنة، صانعة تضاعطا وتقصيرا. وهذا التصادم القارى - القارى يحدث ارتفاعا فى جزء من حزام الجبال الواسع الممتد من جنوبى أوروبا حتى آسيا، من الألب إلى الهملايا. وفى هذا الزلزال ارتفع سطح الأرض مترين (٥,٦ قدما) فى حركة تضاغطية راسية فى معظمها حتى ارتفع جزء من أرمينيا إلى أعلى وركب لوح شبه الجزيرة العربية.

فلماذا قتل هذا العدد الكبير من الناس فى زلزال أرمينيا؟ قتلت الصدمة الرئيسية وقوتها ٦,٩ بمقياس ريختر والصدمة التابعة وقوتها ٥,٩ بمقياس ريختر أكثر من ٢٥٠٠٠ مواطن من المواطنين البالغ عددهم ٧٠٠٠٠٠ مواطن فى دائرة نصف قطرها ٥٠ كم (٣٠ ميلا) من المركز السطحى. قارن هذا بسلسلة الزلازل العالمية (لوما بريتا) جنوبى سان فرانسيسكو التى وقعت بعد عشرة شهور. كان حدثا بقوة ٧,١ قتل فيه أقل من ٢٥ شخصا من تعداد يزيد عن ١,٥ مليون نسمة يعيشون فى منطقة نصف قطرها ٣٠ ميلا من المركز السطحى. فلماذا خلف زلزال كاليفورنيا، الذى بلغت قوته ضعف قوة الزلزال الأرمينى وأثر على أكثر من ضعف عدد سكان أرمينيا، عددا أقل من القتلى بنسبة ١,٠٪؟ وتعرض علينا الإجابة ماثورة مهمة هى - **الزلازل لا تقتل ولكن المباني هى التى تقتل.** والسبب الرئيسى فى وفيات الزلازل هو انهيار المباني.

ولا يثير الرعب مثل انهيار المباني العالية ٩ أدوار أو ١٢ دورا. فأتثناء حدوث الزلازل تفارق الكمرات الأفقية الأعمدة العمودية فتسقط الأسطح غير المدعومة ببساطة. وأصبحت بعض المباني ذات التسع طوابق كالطائرة المتراسة الطبقات وصار ارتفاعها لا يزيد عن طابق واحد؛ وليس فيها متسع لكى يظل فيها إنسان على قيد الحياة. فسكان هذه المباني انضغطوا بين طبقات الأسطح المتراسة محدثة زيادة فى عدد الوفيات.

حاشية جانبية: نظرة تاريخية

يجدر بنا أن نتأمل آثار الزلازل فى الأرض المقدسة، وفكر الأئمة من رجال الدين فى هذا الإقليم، الذى يعتبر مهدا لليهودية والمسيحية ومنطقة مهمة للمسلمين. تخيل الأئمة الأوائل الذين عاشوا فى مساكن متقشفة مبنية باللبن والأحجار على طول أحد صدوع المضرب المنزلقة فى العالم. وكان إدراكهم محدودا بعمل الأرض، وعليهم أن يشرحوا ويفسروا الأحداث التى دمرت مدنا بأكملها وقتلت آلافا من الناس. ومن المدهش أن كثيرا منهم فسر الأحداث المدمرة فى زمانهم على أنها «من صنع الله».

دعنا الآن نستخدم مفهومنا عن الألواح التكتونية وحركات الصدوع ونفسر على ضوءها الأحداث الماضية. فمثلا كيف نفسر قصة اليسوع وهو يقود الإسرائيليين فى أرض الميعاد وخاصة الحادث الشهير لتهدم جدران أريحا ومدينة الواحة؟ فهل يمكن أن يكون زلزال قد وقع أثناء حصار أريحا الطويل، فهدم جدران المدينة وقتل وأقعد كثيرا من مواطنى المدينة وسمح لجيش اليسوع أن يدخل المدينة ويتولى أمورها؟ ويعانى أهل المدن من الجراح والقتل التى يسببها تهدم المنازل جراء الزلازل وليس بسبب القوات المرباطة حولها لحصارها. وتوضح البحوث التاريخية والأثرية فى الأرض المقدسة أن كثيرا من المباني المتهمة والمدن القديمة لم تلق حتفها بفعل الزمن أو الإنسان وحده، بل وقع أغلبها بفعل الزلازل.

زلازل الصدوع التحويلية

يتحرك لوح شبه الجزيرة العربية بعيدا عن أفريقيا ويندفع فى أوراسيا، ولكن ماذا يحدث على طول جوانب لوح شبه الجزيرة العربية؟ حركات الانزلاق تحدث عبر الصدوع التحويلية. فعلى الجانب الشرقى يدخل صدع حد اللوح تحت المحيط الهادى وله آثار قليلة على البشر. ولكن انظر إلى حركات الصدع المنزلق التى تحدث على طول الجانب الغربى للوح شبه الجزيرة العربية (الشكال ٢-٣٣ و ٢-٣٤ و ٢-٣٥).

منطقة صدع البحر الميت

تماثل منطقة صدع البحر الميت في نصف الكرة الشمالي منطقة صدع سان أندرياس في كاليفورنيا. فهي لا تسير مباشرة في الأرض المقدسة ولكنها أوجدت كثيرا من التضاريس الطبوغرافية المعروفة جيدا في المنطقة. تذكر أن الشكل (٢-٢٤) يشتمل على أربع تغطيات واضحة أو مدرجات في منطقة صدع البحر الميت. فحركات الصدع على كلا جانبي المدرجات أوجدت أحواضا متباعدة تمتلئ بالمسطحات المائية التاريخية الشهيرة مثل البحر الميت وبحر الجليل. وظل صدع منطقة البحر الميت نشيطا حتى فتح البحر الميت. وفي ذلك الوقت كان هناك ١٠٥ كم (٦٥ ميلا) من التغيرات المفاجئة و ٤٠ كم (٢٥ ميلا) من هذه الحركة حدثت في ٤,٥ مليون سنة الأخيرة. وهذا يحسب إلى جانب متوسط معدل الانزلاق (الحركة) لأكثر من ٥ مم/سنة على المدى البعيد أو ٩ مم/سنة في الفترة الزمنية الأخيرة. وعلى أية حال، فالصدوع الخشنة المقاومة للاحتكاك لا تنزلق بسهولة على امتدادها لعدة ملليمترات في السنة. وتميل الصخور على طول الصدع إلى تخزين الإجهاد حتى تعجز عن تخزين المزيد منه فتتمزق في حركة صدعية محدثة زلزالا. فكيف تتكرر هذه الزلازل؟ الجدول (٢-١) يرصد جزئيا بعض الزلازل التي حدثت في الأرض المقدسة، قام بجمعها أموس نور من جامعة ستانفورد.

تركيا في عام ١٩٩٩

كان مساء حارا ورطباً مما جعل النوم فيه متعذرا، وظل كثير من الناس ساهرين حتى الساعة ٣,٠١ من صباح يوم ١٧ من أغسطس ١٩٩٩ بالقرب من بحر مرمرة في قلب المنطقة الصناعية في تركيا. وانزعج الناس عند مشاهدتهم كرة من اللهب ترتفع من البحر، وسماعهم صوت انفجار مدو ورأوا أرضا تغطس على امتداد الشاطئ وموجة عاتية من الماء. وتحرك شق آخر على طول صدع شمالي الأناضول في زلزال قوته ٧,٤ بمقياس ريختر. وفي هذا الوقت شق الصدع سطح الأرض لمسافة ١٢٠ كم (٧٥ ميلا) وتحرك جانب الصدع الجنوبي تجاه الغرب حتى ٥ أمتار.

تنمو سريعا. وفي الـ ١٥ قرنا الماضية ضرب إستنبول ١٢ زلزالا أحدثت خسائر فادحة. وتشير الإحصائيات إلى أن الزلزال الكبير القادم الذى يضرب إستنبول متوقع بنسبة ٦٢ (+/-) ٥٪ فى خلال الـ ٣٠ سنة القادمة.

موجز

سحبت الجاذبية الأرض فى عدة طبقات من مختلف الكثافات، بدءاً باللب المعدنى الثقيل ووصولاً إلى الخارج حيث الطبقات الأقل كثافة فى الوشاح ثم القارات والمحيطات وأخيرا الغلاف الجوى. وتلك الطبقات توجد فى حالة مُعامل للطفو يعرف بالتوازن. ويمكن قياس حركات الأرض إلى أعلى وإلى أسفل بناء على نظرية الضبط التوازنى.

وتخضع الطبقات الخارجية للأرض لدورة كبرى تعرف بالدورة التكتونية. فالصخور الساخنة الطافية/ الصحارة ترتفع من الوشاح خلال القشرة الأرضية لتبنى سلسلة جبال حول العالم من البراكين (سلسلة أعراف المحيطات). وتعمل الصحارة المندفعة فى سلسلة الأعراف على تباعد حواف القشرة الأرضية (دفع سلسلة الأعراف) وألواحها الضخمة (الألواح) التى تنسحب بفعل الجاذبية (سحب الألواح) لتشكل أحواض المحيطات فى عملية تعرف بانتشار قاع البحر. وعندما تتصادم ألواح القشرة الأرضية المتحركة هذه، يغطس (ينضوى) اللوح ذو الصخور الأعلى كثافة فى الوشاح فى عملية تعرف بالانضواء، لتسيل وتمتص. وتنقسم القشرة الأرضية إلى ألواح تتباعد وتنزلق وتتصادم ببعضها بعضا. فتصادم الألواح يؤدى إلى رفع الجبال وانضواء قيعان البحار لتشكل خنادق عميقة وممتدة، وثورة البراكين وحدث الزلازل، وهذه الدورة هى عملية الألواح التكتونية. وتتكون القارات من صخور أقل كثافة تتركب فوق صخور الألواح المتحركة الأعلى كثافة.

والدليل على تكتونية الألواح واضح جلى. فالمجالات المغنطيسية القديمة الكائنة فى الصخور المعدنية الحاملة للحديد تشير نحو القطبين المغنطيسيين السابقين الجنوبي

أو الشمالى فى نماذج تدل على انتشار قاع البحر وانجراف القارات. كما أن عمر الصخور والرواسب والحفائر وعمق الماء تزداد كلما ابتعدنا عن سلاسل أعراف المحيطات، مما يدل على أن القشرة المحيطية/ القشرة الأرضية دائمة التشكل والانتشار. وعمر أقدم الصخور والحفائر فى أحواض المحيطات يقل بنسبة ٥٪ عن عمر الأرض، مما يدل على أن مادة المحيطات تتحطم بإعادة دورتها فى الوشاح.

وتحدث معظم الزلازل بسبب الحركات الصدعية مصحوبة بالألواح التكتونية. وللألواح ثلاثة نماذج للحواف المتحركة: (١) التباعد عن مراكز الانتشار، (٢) الانزلاق عبر الصدوع التحويلية، (٣) التقارب عند مناطق التصادم. ولا تحدث حركات الشد (التباعد) عند مراكز الانتشار زلازل كبيرة جدا. والحركات الأفقية فى معظمها (الانزلاقية) عند الصدوع التحويلية يمكن أن تحدث زلازل تصل قوتها حتى حوالى ٨ بمقياس ريختر. أما الحركات التضاغية عند مناطق الانضواء وتصادم القارة بالقارة فتولد أعظم الزلازل التكتونية التى تؤثر على أوسع المناطق، مثل زلزال الصين فى عام ١٩٦٠ الذى بلغت قوته ٩,٥ بمقياس ريختر.

وتحدث معظم الوفيات من الزلازل بسبب انهيار المباني. فمثلا، منذ آلاف السنين بنى الناس منازلهم بالأحجار واللبن على طول منطقة صدع البحر الميت (وهو صدع تحويلى كبير)، ولبضع آلاف من السنين كانت هذه المنازل الهشة تنهار بسبب الزلازل محدثة الكثير من الوفيات. وقد أثرت هذه الكوارث الجيولوجية فى تعاليم كل من اليهودية والمسيحية والإسلام.

ويحدث تصادم القارة بالقارة زلازل كبيرة فى كل من آسيا وأسيا الصغرى. وفى عام ١٩٨٨ قتل زلزال أرمينيا أكثر من ٢٥٠٠٠ نسمة راح معظمهم فى انهيار المباني الخرسانية المتعددة الطوابق التى لم تكن أعمدتها وحوائطها مرتبطة بسقوفها بأربطة أمنة. وفى عام ١٩٧٦ قتل فى زلزال تانجشان بالصين ٢٤٢٤١٩ شخصا فى منازل مبنية بقوالب من الطين وأسقف ثقيلة وكذلك فى المباني المتعددة الطوابق. وأكثر الزلازل فى التاريخ إحداثا للوفيات وقع فى عام ١٥٥٦ فى ولاية شانكسى بالصين عندما انهارت المنازل المحفورة فى كهوف بطبقة الرواسب الغرينية المفككة (اللوس) وقتل فيها ٨٣٠٠٠٠ نسمة.

وفى مناطق الانضواء يحدث أكبر عدد من الزلازل الكبرى (قوتها ٨ فأكثر).
ففى عام ١٩٢٣ دمرت حركة الانضواء فى لوح المحيط الهادى كل مبانى طوكيو
ويوكوهاما تقريبا؛ وحدث معظم الدمار بسبب الحرائق التى اندلعت أثناء أنهيار
المبانى.

أما فكرة حدوث الزلازل فى ظروف طقس معينة فقد تبين خطأها. ويزيد تدفق
الطاقة من باطن الأرض إلى سطحها من قوة الزلازل، التى لا تتأثر بدرجات حرارتها
أو برودتها ولا بجفافها أو رطوبتها ولا بحدوثها ليلا أو نهارا أو بأية ظروف سطحية
أخرى.

مصطلحات للمذاكرة

acre feet	قدم فى الإيكر
acre feet	قدم فى الإيكر
asthenosphere	نطاق انسيابى
buoyancy	طفو
chondrite	شهب / أحجار سماوية
cohesion	تماسك
continental drift	انجراف القارات
convection	الحمل الحرارى
curie point	نقطة كورى
epicenter	مركز سطحى
escape tectonics	ألواح منزلقة
fault	صدع
fossil	حفيرة
Gondwanaland	أم القارات الجنوبية (جوندوانالاند)
hot spot	بقعة حارة

isostasy	توازن
latitude	خط عرض
lava	حمم بركانية
lithosphere	طبقة القشرة الأرضية
loess	رواسب رمليّة غرينية ناعمة
magnetic field	مجال مغنطيسي
magnetic pole	قطب مغنطيسي
magnetism	المغنطيسية
mantle	الوشاح
mesosphere	الغلاف المتوسط
Pangaea	أم القارات (بانجاليا)
plate	لوح
plate tectonics	لوح بنائي تكتوني
plume	ريشة
reef	شعب
ridge	سلسلة أعراف (جبال)
rift	أخدود
seafloor spreading	انتشار قاع البحر
seismic-gap method	طريقة الثغرة الزلزالية
slip	منزلق
spreading center	مركز انتشار
subduction	انضواء/ غطس
tectonic cycle	دورة تكتونية
tectonics	نظرية الألواح البنائية
tension	إجهاد (شد)
thrust fault	صدع دسري

topography	تضاريس الأرض
trench	خندق
triple junction	نقطة الاتصال الثلاثية
tsunami	موجة سنامية عاتية
Uniformitarianism	تماثل فى قوانين الطبيعة
viscous	لزج

أسئلة للمراجعة

- ١ - اذكر كيف أصبحت الأرض مقسمة إلى طبقات مختلفة الكثافة؟
- ٢ - كيف تشكلت القارات والمحيطات والغلاف الجوى للأرض؟
- ٣ - ارسم وعرف أجزاء المقطع العرضى الذى يوضح الدورة التكتونية؟
- ٤ - ما أعمار أقدم: (١) صخور القمر (٢) النيازك (٣) صخور القارات (٤) الصخور المكونة لقاع المحيط؟
- ٥ - اشرح دليلاً يثبت أن قيعان البحار تنتشر؟
- ٦ - صف خندق محيط عميقاً وشرح كيف يتشكل؟
- ٧ - لماذا تحدث الزلازل العميقة فى المناطق المائية؟
- ٨ - اشرح عدداً من الأدلة الدالة على أن القارات تتحرك حول الأرض؟
- ٩ - ارسم قطاعاً مقطوعياً يوضح بقعة حارة وريشة. كيف يوضحان اتجاهات حركة الألواح؟
- ١٠ - كيف تشكل المجال المغنطيسى للأرض؟
- ١١ - اذكر بعض الأمثلة للتوازن؟

- ١٢- ارسم خريطة للوح تكتونى مثالى و اشرح مخاطر حدوث الزلازل حول كل جانب من حوافه؟
- ١٣- ما أقوى زلازل يمكن أن يحدث عند مركز الانتشار؟ وعند الصدع التحويلي؟ وعند منطقة الانضواء؟ وعند تصادم قارة بقارة؟
- ١٤- اشرح لماذا تحدث الزلازل فى منطقة الانضواء أقوى بعدة مرات عن مثيلاتها التى تحدث عند مركز الانتشار؟
- ١٥- ارسم شكلا تخطيطيا لسلسلة من المقاطع توضح كيف تنفصل القارة لتأوى حوضا محيطيا؟
- ١٦- ارسم منظراً لخريطة لنقطة اتصال ثلاثية لمراكز الانتشار؟
- ١٧- ارسم قطاعا مقطوعيا من الجنوب الغربى إلى الشمال الشرقى للوح شبه الجزيرة العربية و اشرح أصل الزلازل فى أرمينيا وإيران؟
- ١٨- ارسم قطاعا مقطوعيا و اشرح لماذا تعتبر الهيمالايا أضخم سلسلة جبال فى العالم؟
- ١٩- اشرح طريقة الثغرة الزلزالية للتنبؤ بالزلازل؟
- ٢٠- قيّم فكرة طقس الزلازل؟

أسئلة لمزيد من التأمل

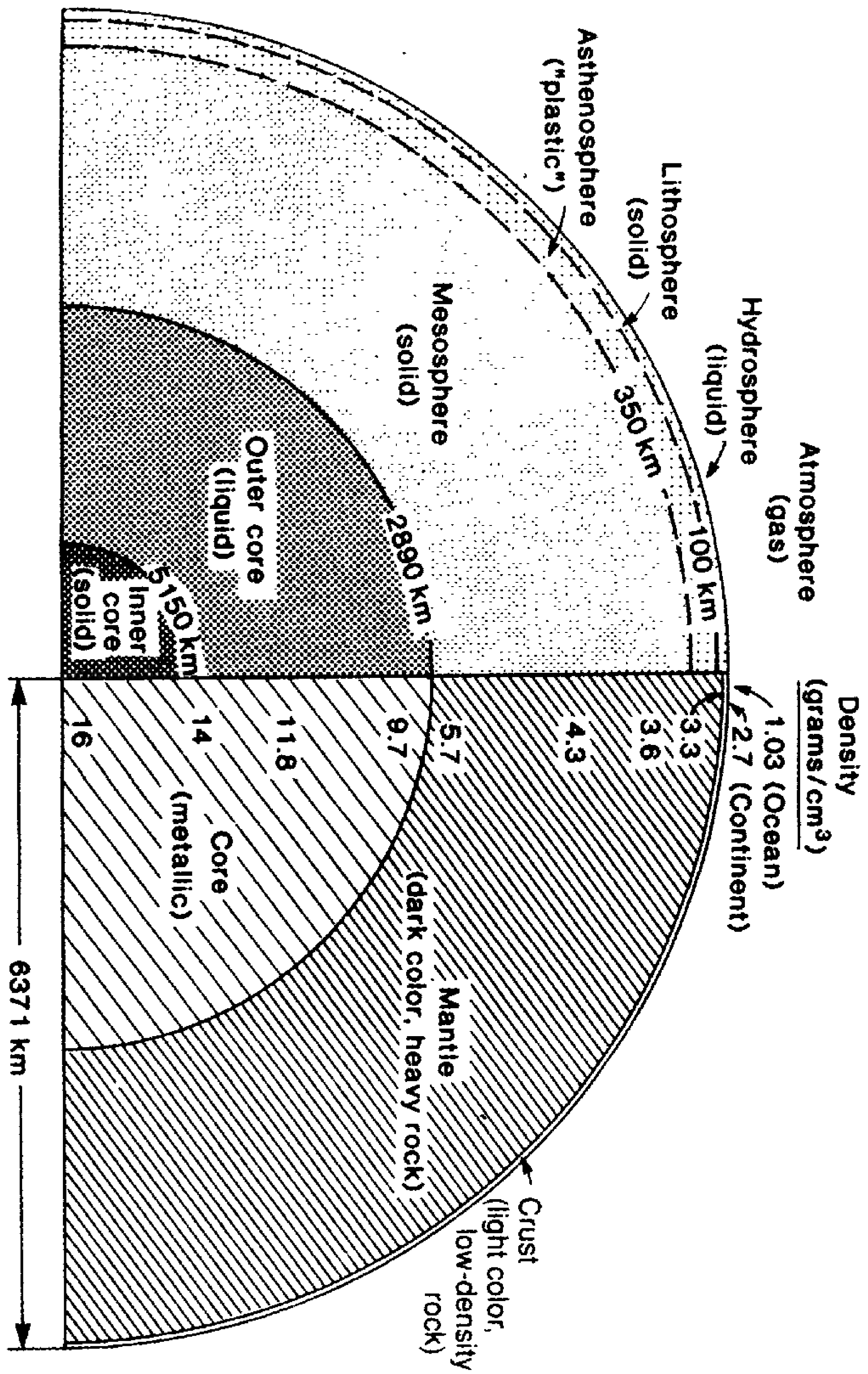
- ١ - تُدعى الأرض عادة «اليابسة». فهل هذا مفهوم جيولوجى أصيل؟
- ٢ - هل يحتمل أن يحدث نمط الزلازل التى شقت السويد بعد زوبان المجلدات (المثلجات) مرة ثانية أثناء حياتك؟
- ٣ - كيف يستخدم السجل المغنطيسى داخل الصخر البركانى فى تقدير خط العرض الذى بردت عنده الحمم؟

- ٤ - كيف يمكن حساب معدل حركة اللوح؟
- ٥ - كيف انتقل قطبا المجال المغنطيسى للأرض من الشمال إلى الجنوب والعكس ثانية؟
- ٦ - ما مقدار انخساف (هبوط) الأرض تحت الأحمال أو ارتفاعها بعد إزالة الحمل أثناء ضبط التوازن؟
- ٧ - كيف يمكنك استخدام الطعام لعمل نموذج للوح تكتونى فى مطبخك؟
- ٨ - هل يحتمل أن يتباعد شرقى أفريقيا عن بقية أفريقيا ليشكل لوحا صوماليا؟
- ٩ - كيف يمكن لقوم يجهلون المعلومات الجيولوجية ويعيشون فى منازل مبنية بالأحجار بجوار صدع كبير أن يشرحوا زلزالا كارثيا؟
- ١٠ - لماذا ترتبط الحرائق فى المدن عادة بالزلازل الكبرى؟

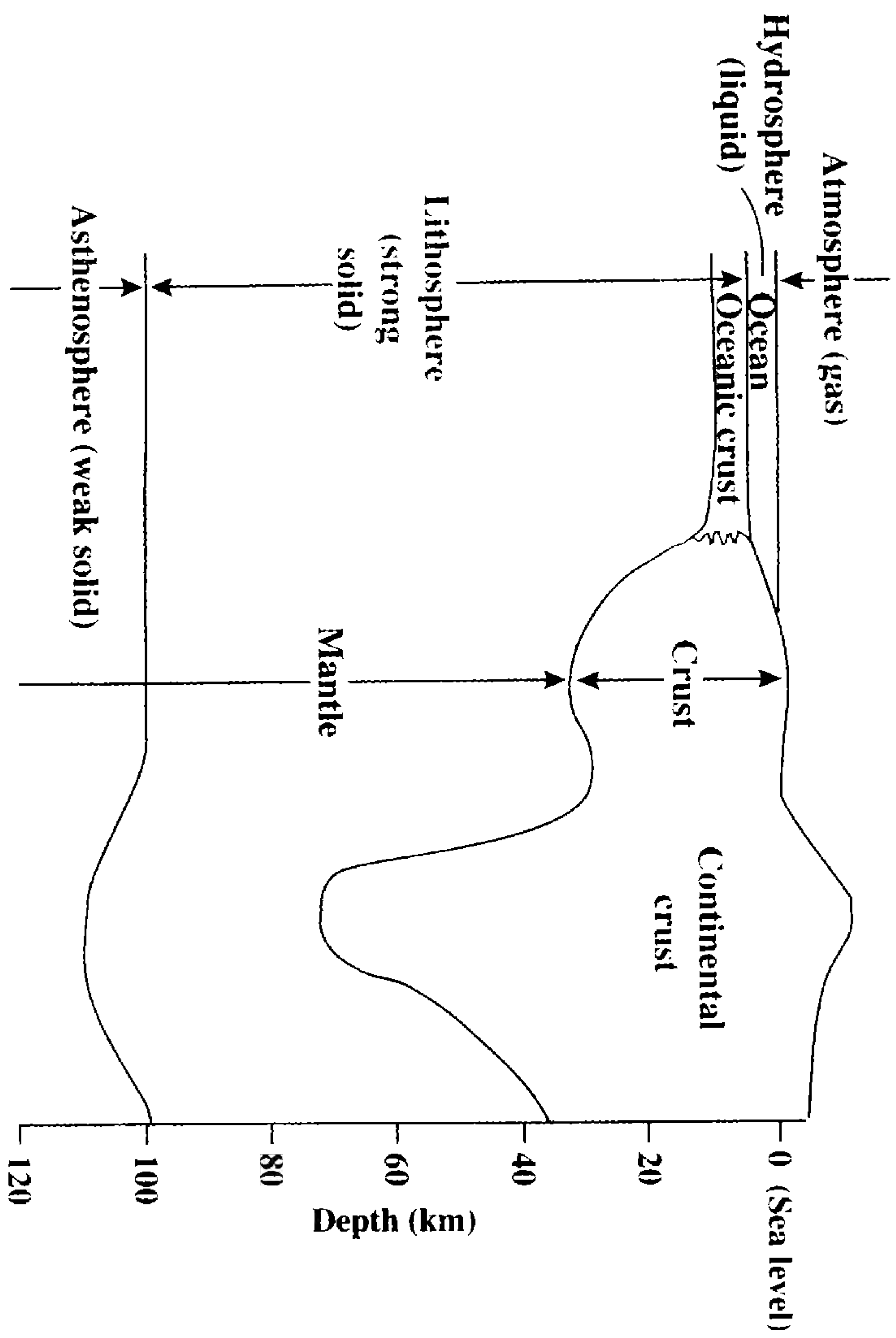
أشكال الفصل الثاني



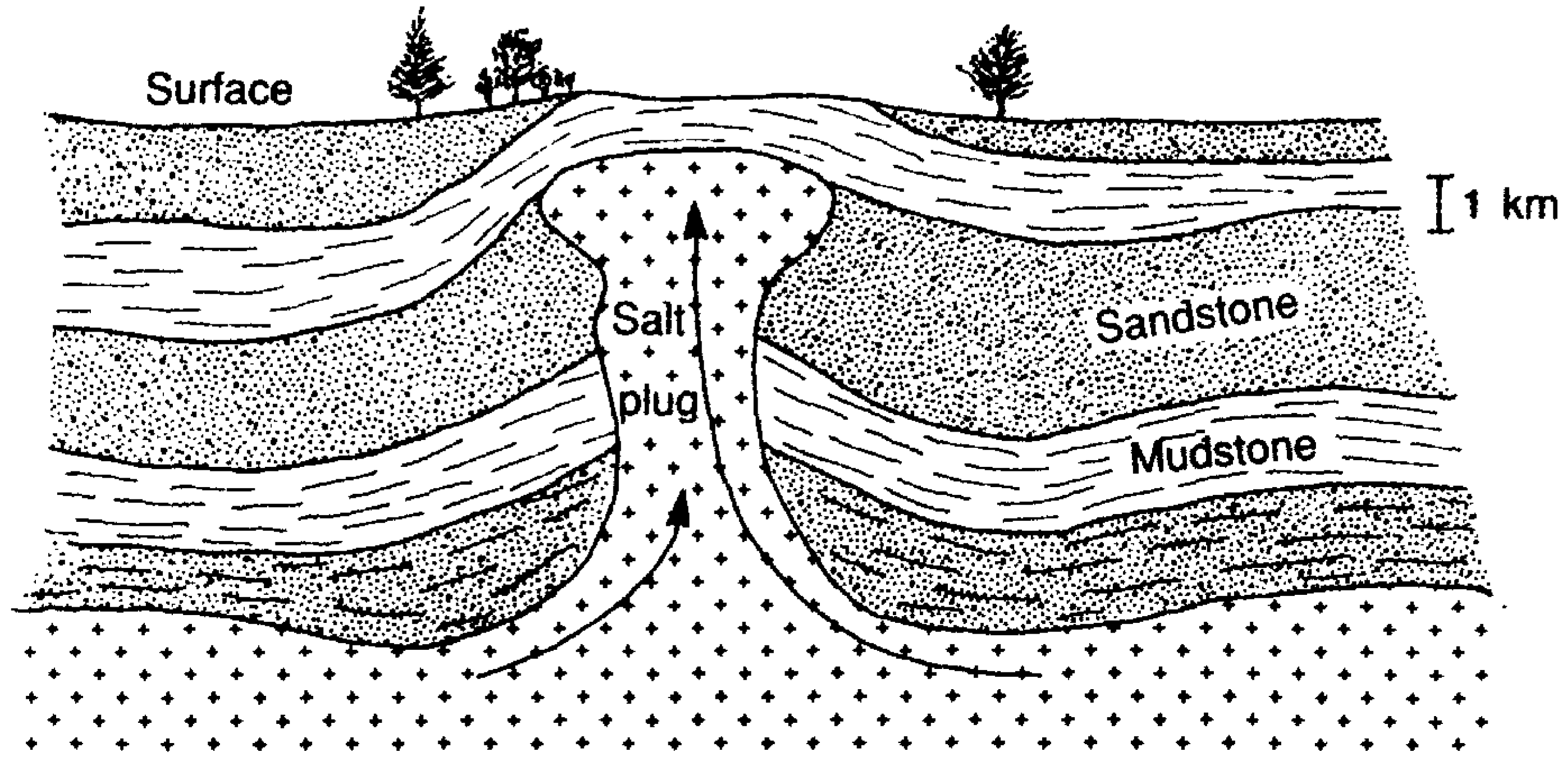
الشكل (١-٢) قتلت الزلازل في تركيا في يومى ١٧ أغسطس و١٢ نوفمبر ١٩٩٩ ما يزيد عن ٢٠٠٠٠ نسمة. وفي هذا المربع في دوشى انهارت سبعة مبان متعددة الطوابق.



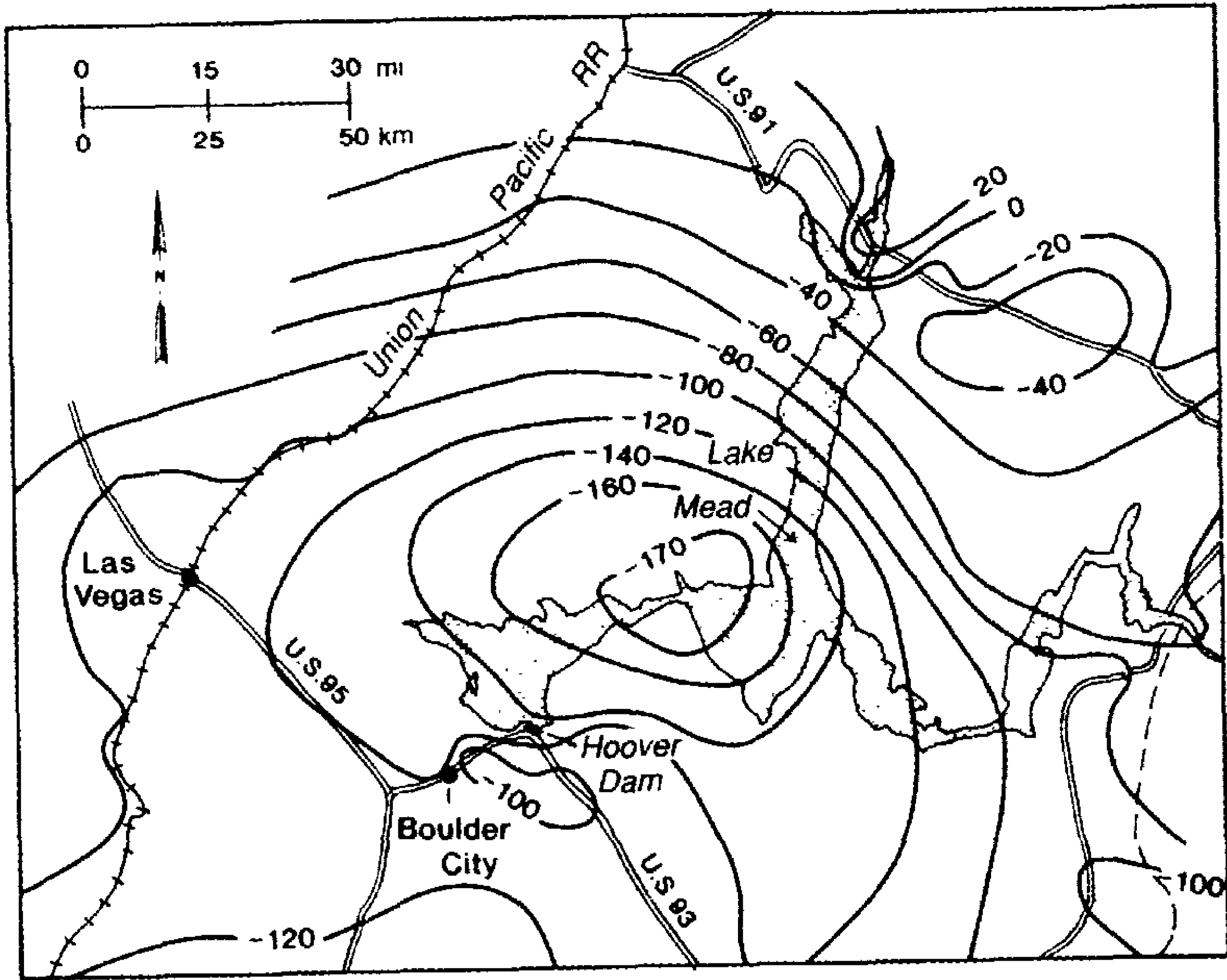
الشكل (٢-٢) التتابع بالكثافة في باطن الأرض، أي أن المواد الأقل كثافة تطفو فوق المواد الأعلى كثافة. ويزداد الضغط والحرارة من سطح الأرض إلى مركزها. والطبقات الموضحة على اليسار توضح الاختلافات في الخواص الطبيعية والقوة. أما الطبقات الموضحة على اليمين فتوضح مختلف التركيبات المعدنية والكيميائية.



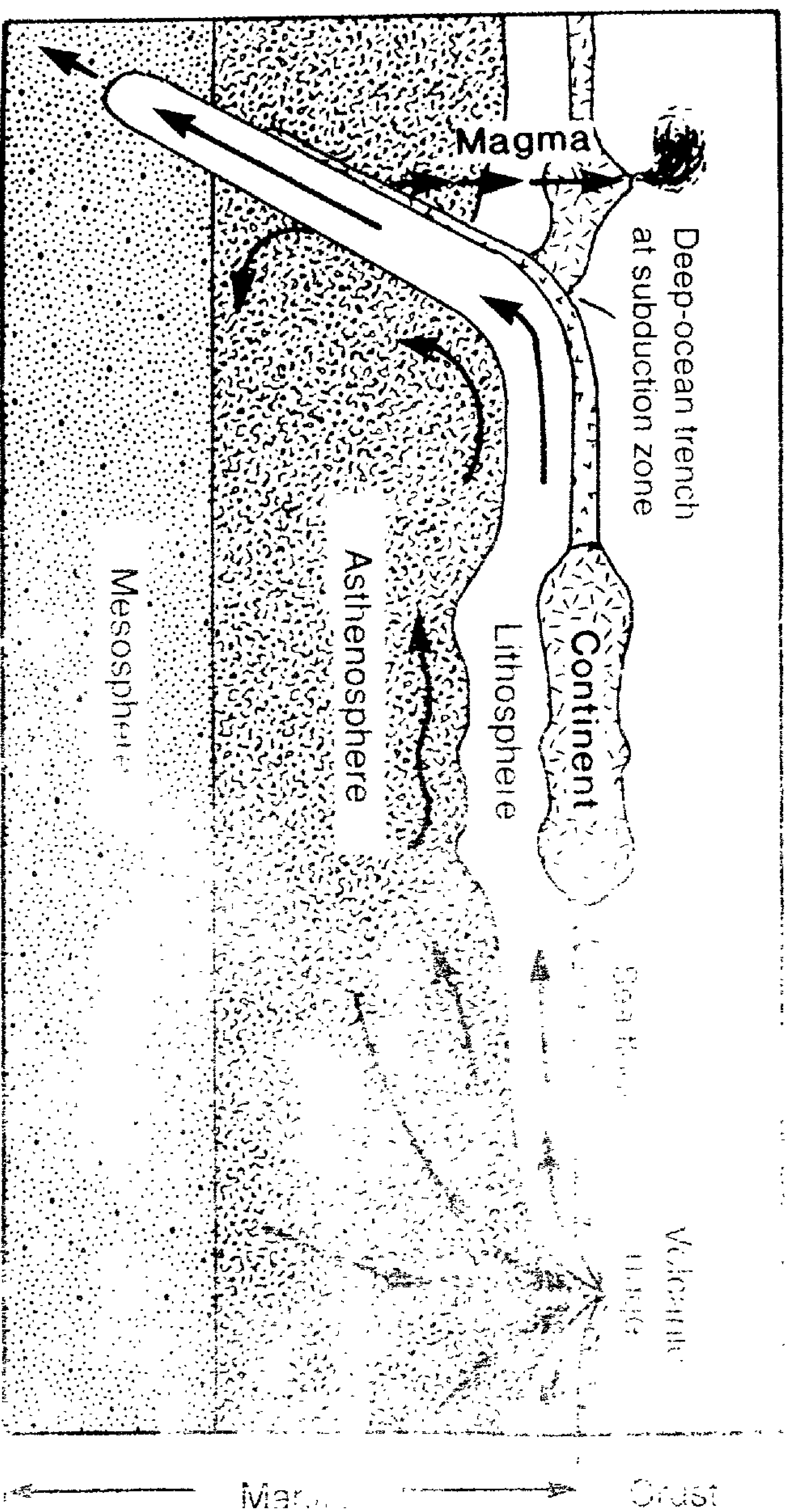
الشكل (٢-٣) يمكن تمييز الطبقات العليا للأرض (١) بالتركيب، حيث تتفصل القشرة ذات الكثافة الأقل عن طبقة الوشاح التي تحتها ذات الكثافة الأعلى، أو (٢) على أساس القوة، حيث تركيب القشرة الأرضية الصلبة فوق النطاقي الانسيابي اللدن.



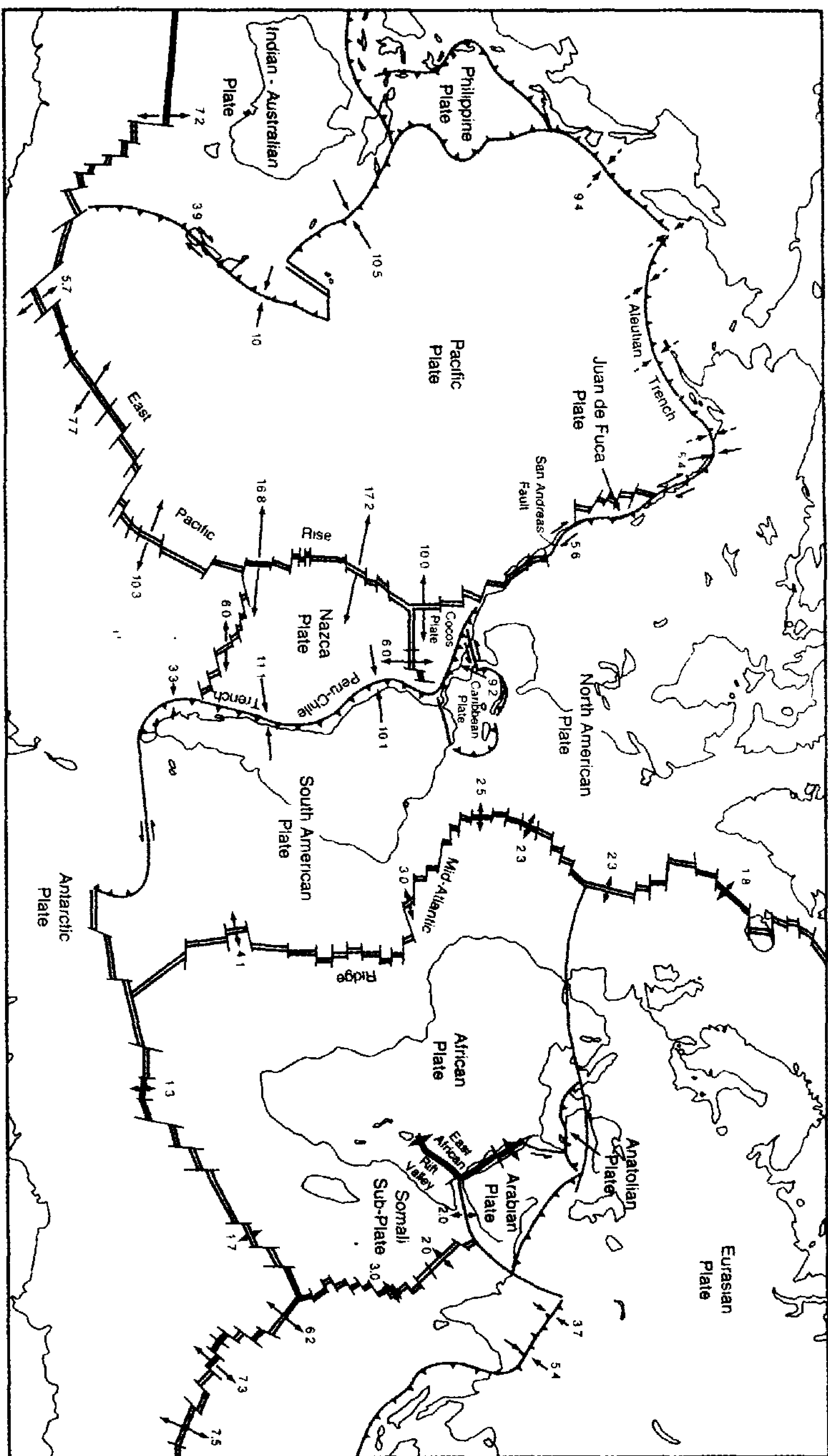
الشكل (٤-٢) سداة أو قبة الملح التي تدفقت إلى أعلى بسبب ضغط طبقات الرواسب الكثيفة فوق سطح الملح.



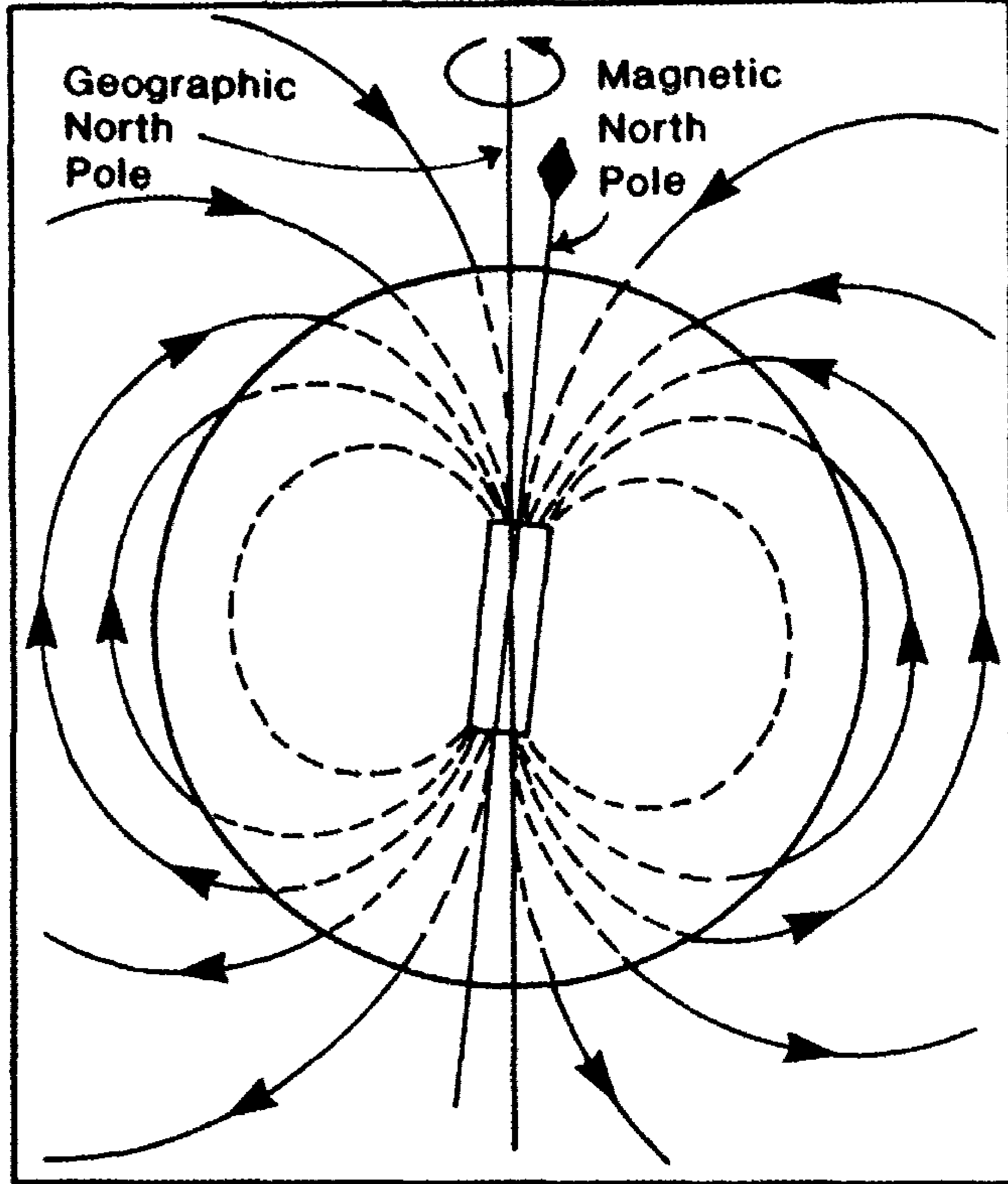
الشكل (٥-٢) الهبوط التوازني الذي سببه حمل بحيرة ميد منذ عام ١٩٣٥ حتى ١٩٥٠. وتوضح خطوط الكنتورات انخفاض (أو ارتفاع) سطح الأرض بالمليمترات.



التي تدفعها إلى الأمام، مما يدفع الصفائح التكتونية. إذ ترتفع المسهارة من المناطق الانسيابي إلى السطح عند سلاسل أعراف
 الجبال، كما في جبال الأنديز، مما يدفع الصفائح إلى الأمام، وتسحب الجاذبية الألواح من تضاريسها العالية. ويرد
 الله بجزء من هذه المسهارة عند قاعدته ويصير أعلى كثافة، ثم يصطدم بلوح آخر أقل كثافة فينضم إلى أسفل حيث يهضم في النهاية في
 طبقة الغوتيا.



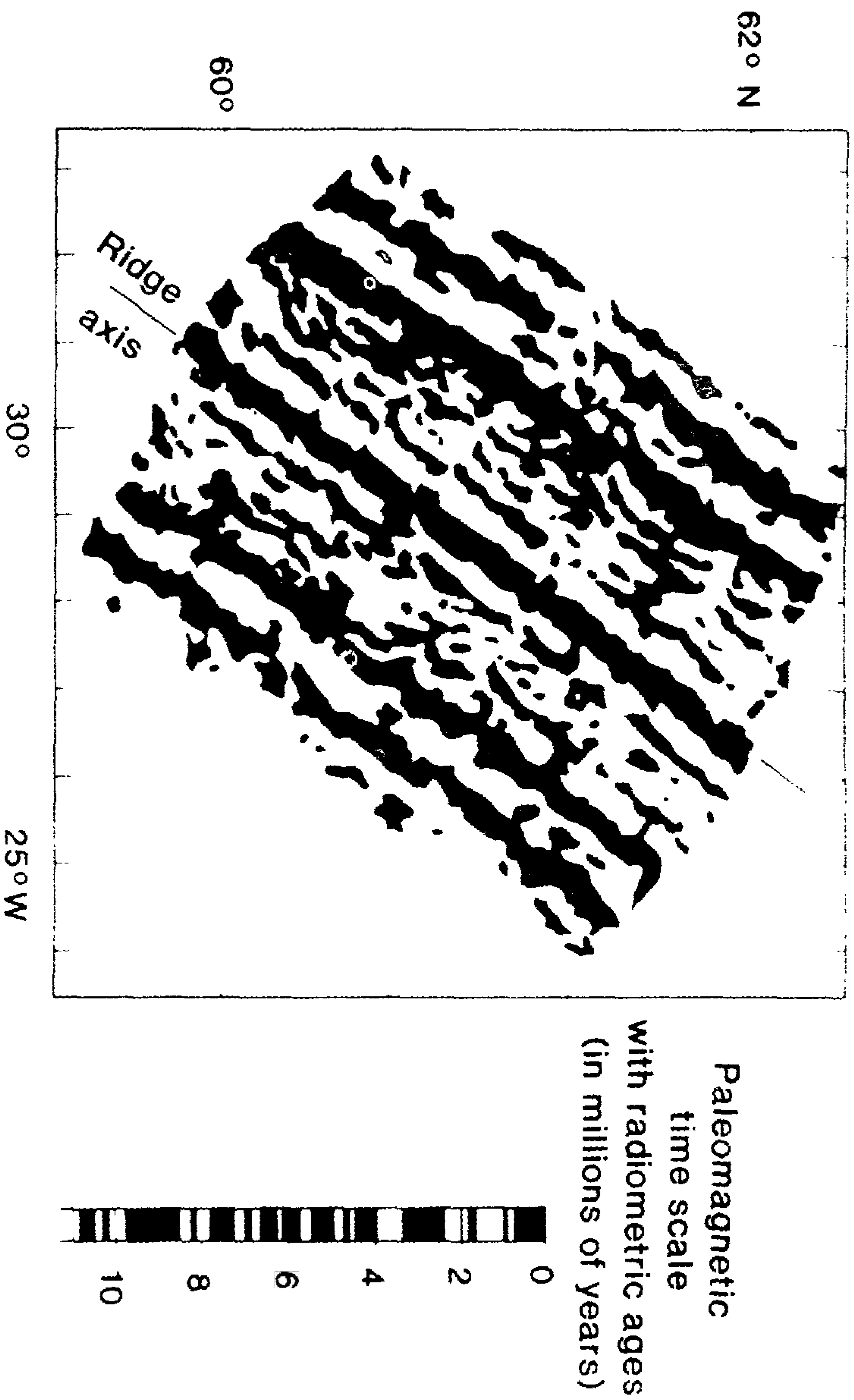
الشكل (٧-٢) خريطة الألواح البنائية التكتونية الكبرى توضح اتجاهات الحركة: كما توضح سرعات الحركة في السنة بالسنتيمترات.



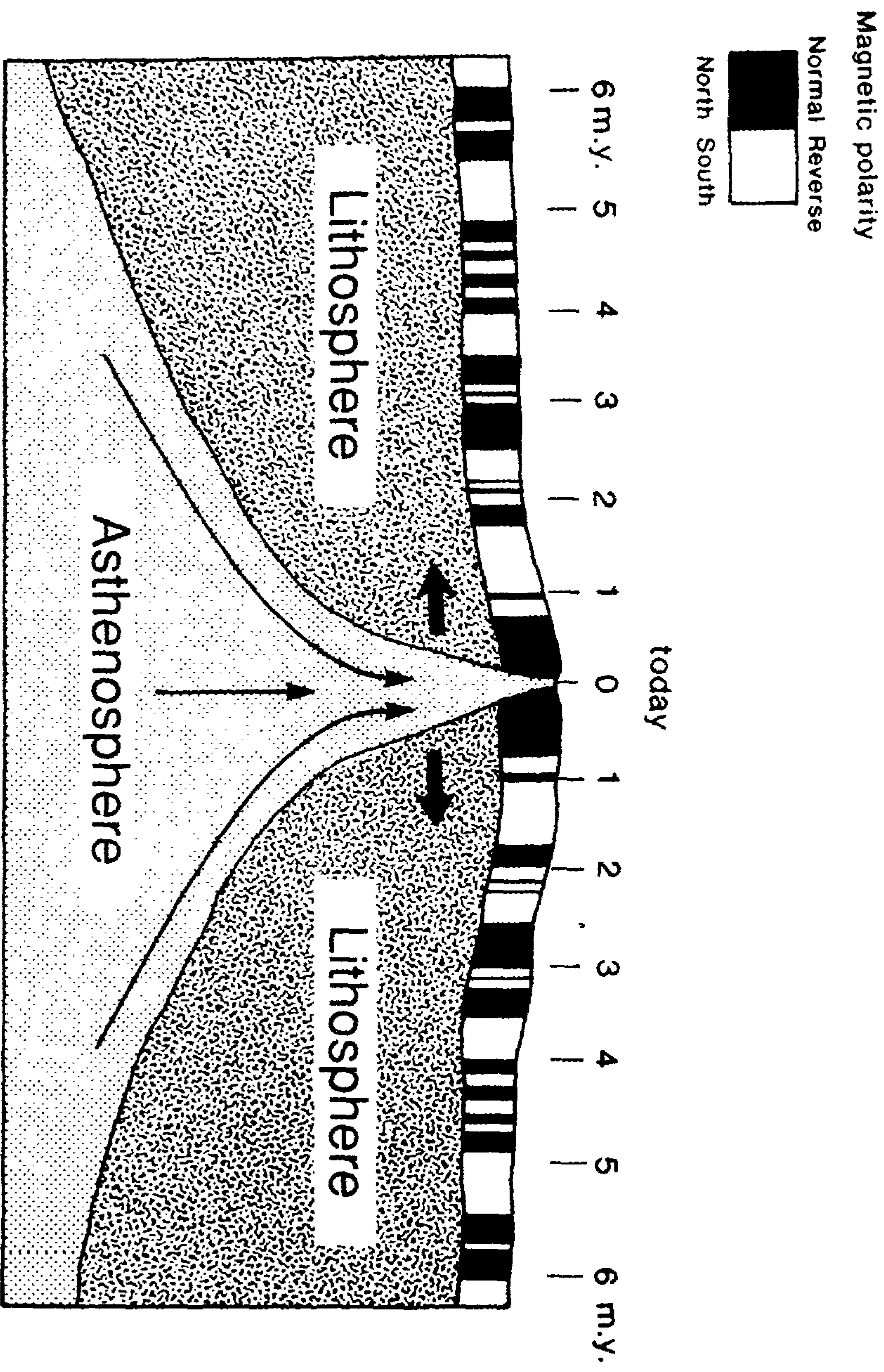
الشكل (٢-٨) رسم تخطيطي يوضح المجال المغنطيسي. والقضيب المغنطيسي المرسوم غير موجود في الطبيعة ولكنه يوجد المجال المغنطيسي ذاته الذي يصنعه التيار الكهربائي في باطن الأرض في اللب الخارجي السائل الغني بالحديد. لاحظ أن (١) القطب المغنطيسي والقطب الجغرافي الدوار غير متطابقين. (٢) وخطوط القوى المغنطيسية موازية لسطح الأرض عند خط الاستواء المغنطيسي وعمودي على القطبين المغنطيسيين. (٣) وتدخل خطوط القوى المغنطيسية في الأرض عند القطب الشمالي وتخرج منها عند القطب الجنوبي.



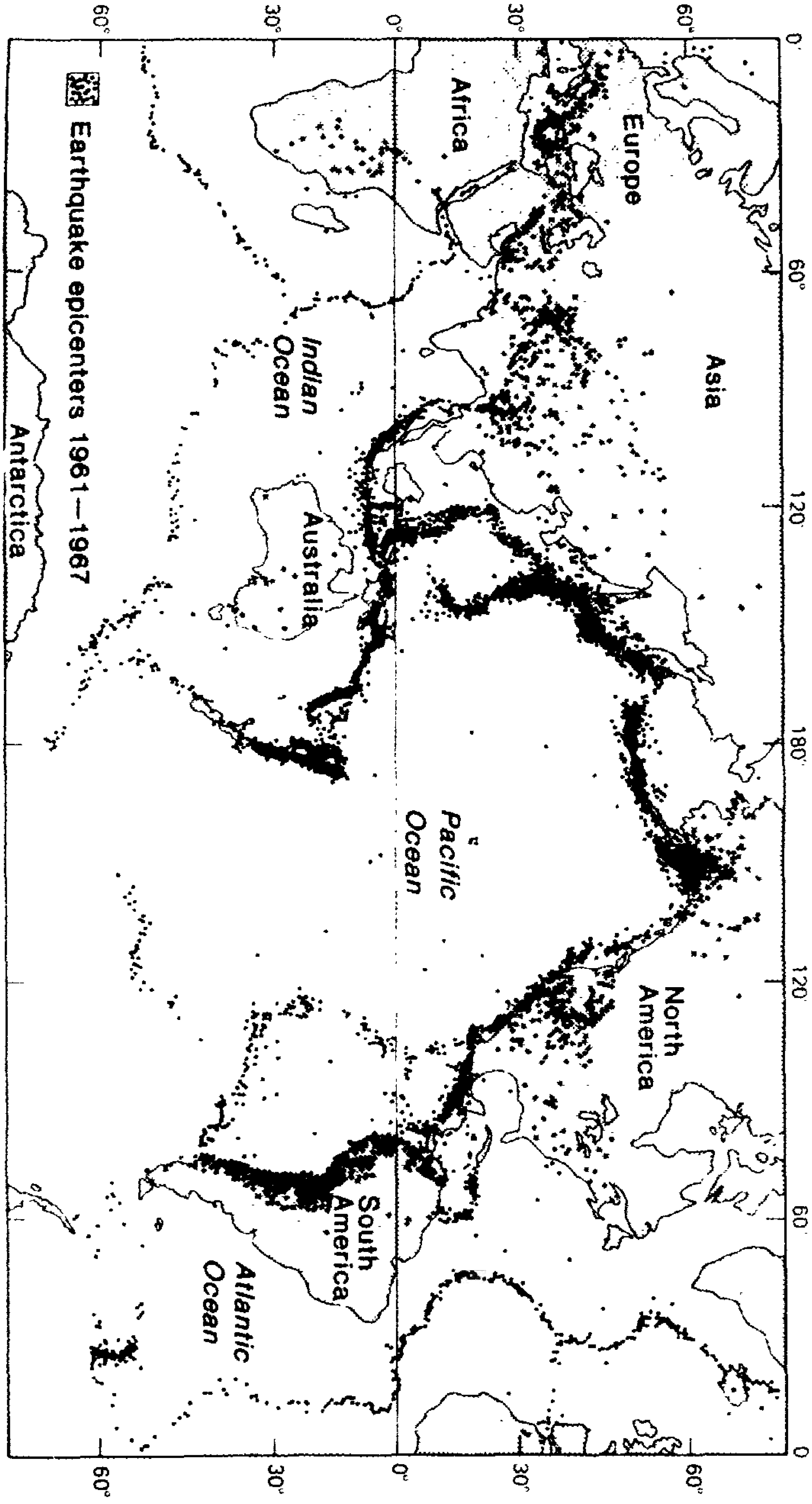
در این تصویر، یک نمای نزدیک از یک دیوار یا دیواره سنگی دیده می‌شود. این دیوار از سنگ‌های بزرگ و کوچک، به همراه مصالحی مانند گچ یا مل، ساخته شده است. در پایین دیوار، یک لایه از خاک یا شن به وضوح مشاهده می‌شود.



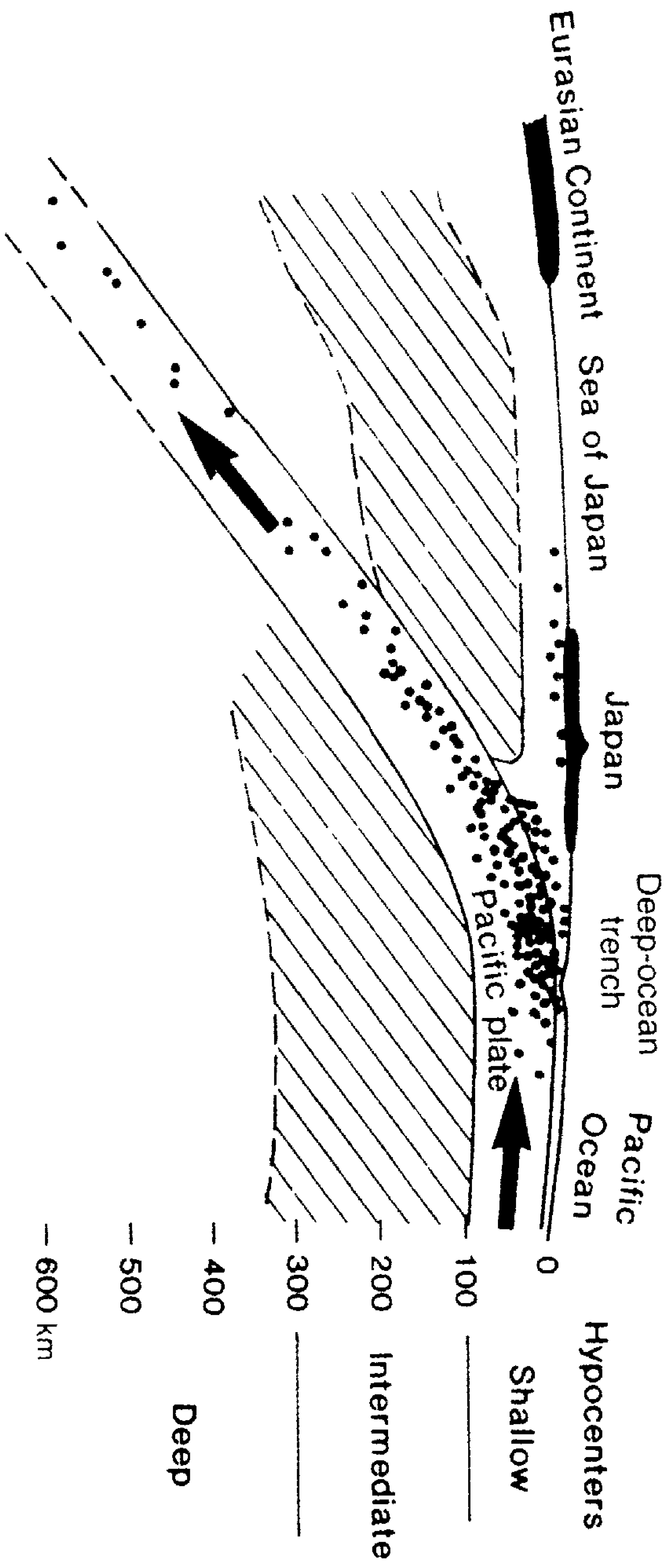
الشكل (١١-٢) خريطة لاقاع المحيط الأطلنطي المخطط مغناطيسيا جنوب غربي آيسلاند. فالناطق السواداء ممغنطة وتشير إلى القطب الشمالي، بينما تشير المناطق البيضاء إلى القطب الجنوبي. لاحظ صور النماذج المتماثلة كصورة بالمرآة على كلا جانبي سلسلة الأعراف البركانية (مراكز الانتشار).



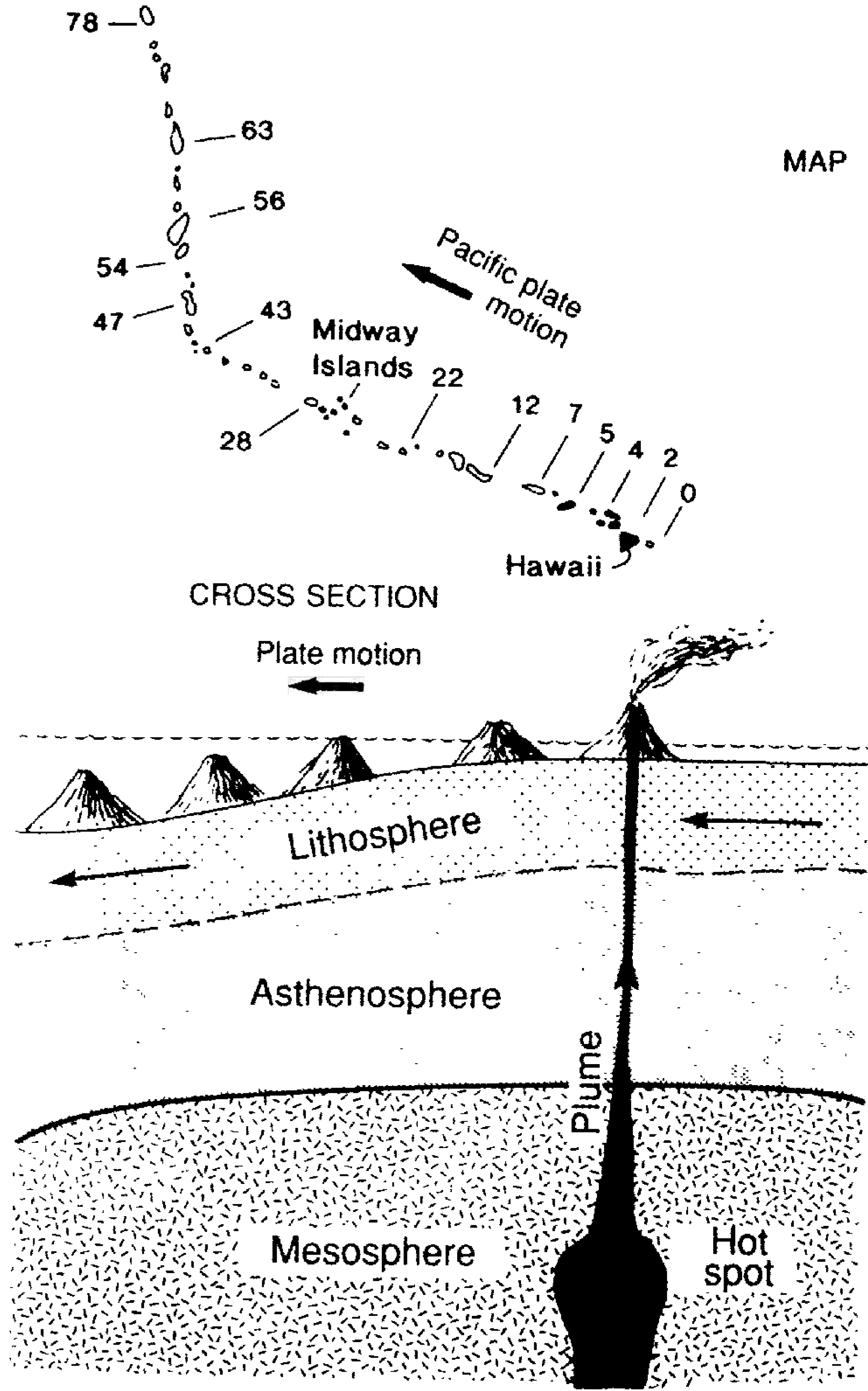
الشكل (١٢ - ٢) قطاع مقطعي لقطاع البحر المخطط مغناطيسياً. والأرقام المذكورة فوق قاع البحر مقاسة بمقياس كثافة الطاقة الإشعاعية وتوضح الأعمار بملايين السنين. والنموذج المغناطيسي المتماثل مثل صورة بالمرآة يشبه شريط التسجيل الذي يؤثر حركات «حزام التوصيل» بعيداً عن سلاسل الأعراف البركانية.



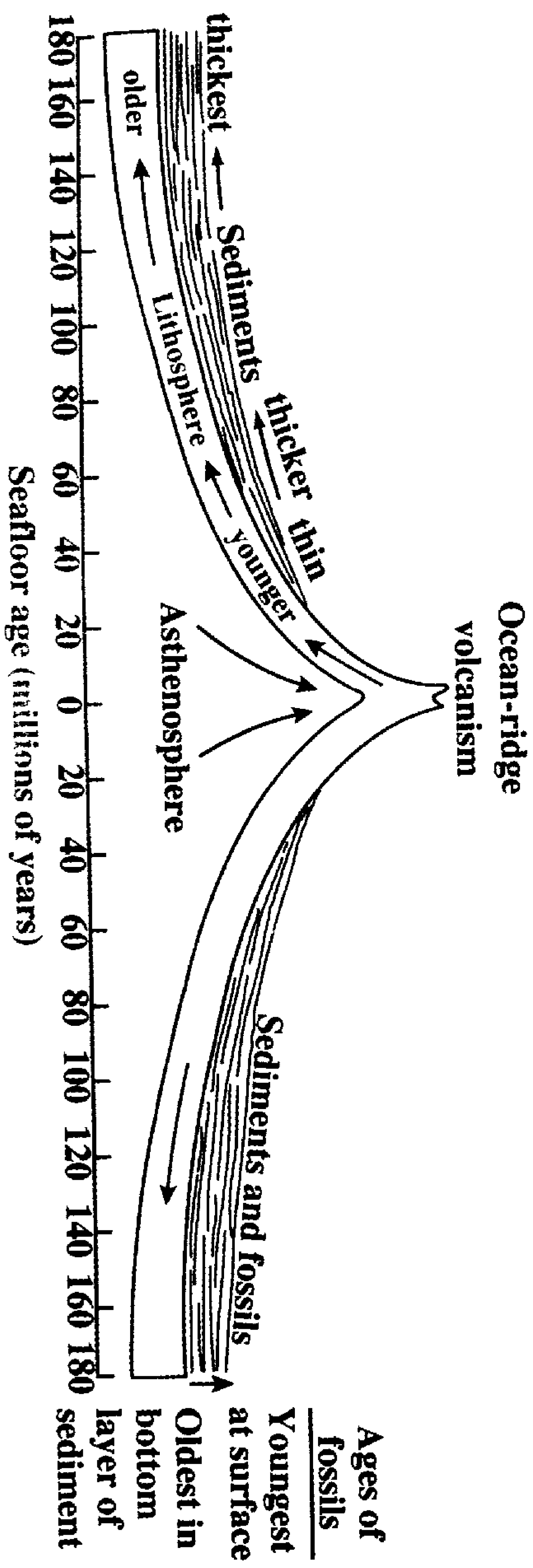
الشكل (١٢-٢) خريطة المراكز السطحية (نقط فوق السطح) سجلتها المساحة الجيوديسية والساحل في الولايات المتحدة منذ ١٩٦١ حتى ١٩٦٧. لاحظ أن المراكز السطحية مركزة في أحزمة خطية.



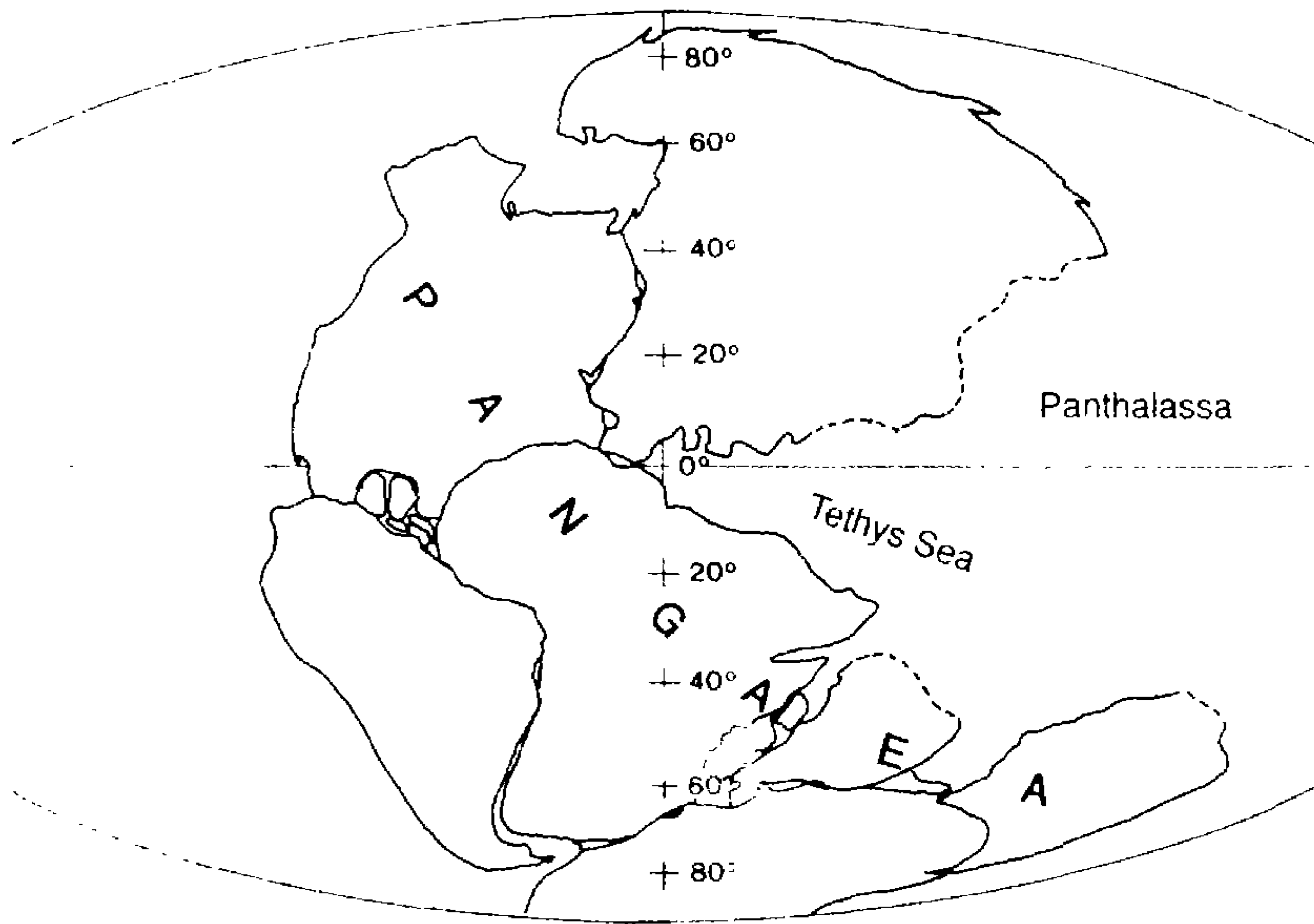
الشكل (١٤-٢) قطاع مقطعي يوضح مواقع الزلازل في العمق: لاحظ السطح المائل الذي تحدده مواقع الزلازل. وتحدد مواقع الزلازل اللوح المنضوي تحت اليابان. وفي الأعماق الضحلة تتولد الزلازل في الصخور الهشة في كل من الألواح المنضوية (الغاطسة) والألواح الراكبة. وفي الأعماق الأبعد يبرد الجزء الداخلي للوح المحيط الهادي المنضوي، للحفاظ على الصلابة اللازمة لإحداث الزلازل. والمناطق المظلة تمثل صخوراً حارة تحددها الموجات الزلزالية ذات السرعة المنخفضة نسبياً.



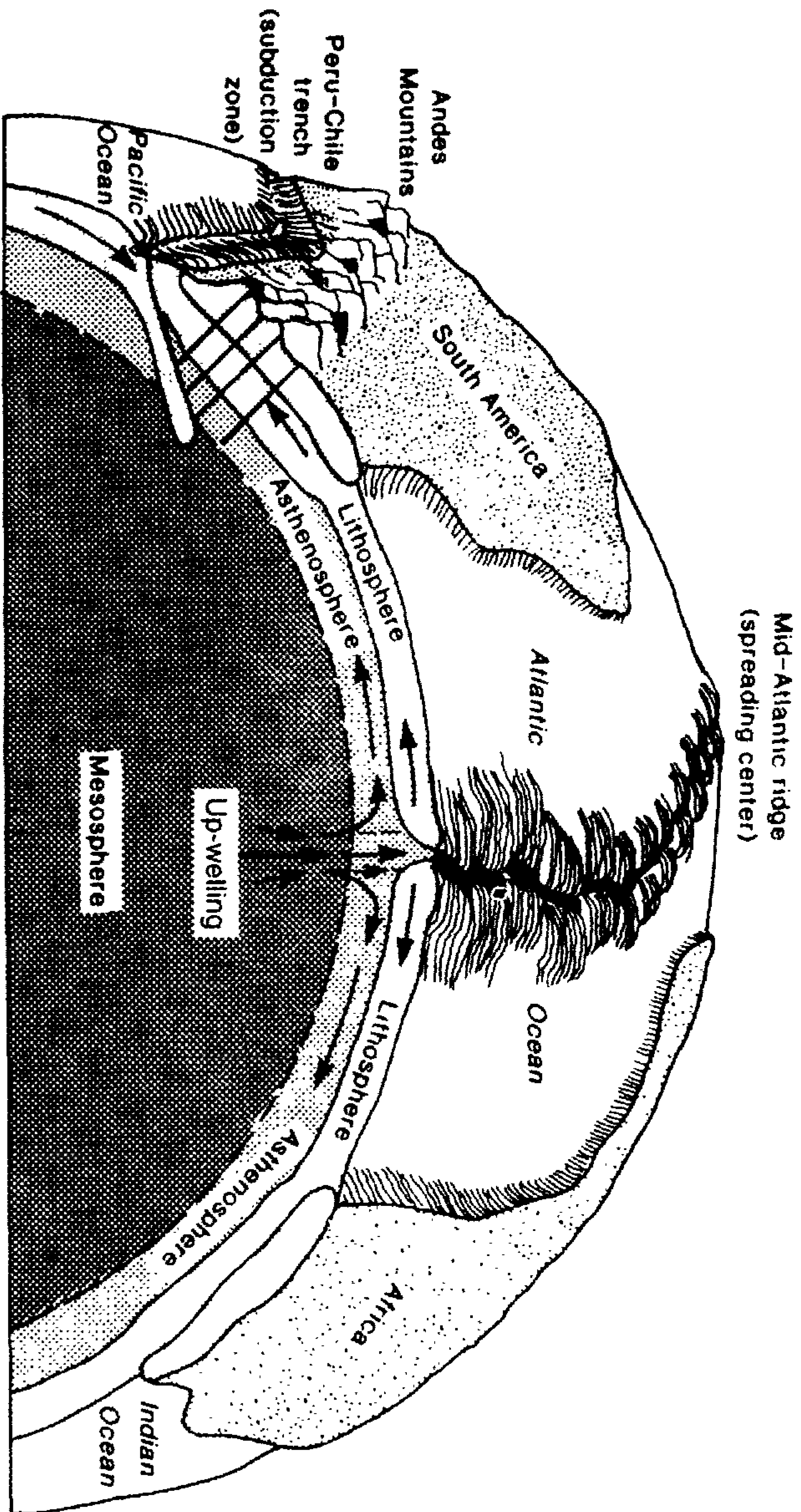
الشكل (٢ - ١٥) بقعة حارة وقناتها. (أ) خريطة توضح جزر هاواي - الإمبراطور سيماونت وسلسلة من البراكين التي تغذيها بقعة حارة وتوقع أعمارها المقدرة بالمواد المشعة. ونموذج خريطة أعمار البركان حركة لوح المحيط الهادي خلال الزمن الجيولوجي. (ب) قطاع مقطعي يوضح بقعة حارة (عين ساخنة) في العمق حيث يرتفع الصخر الساخن من الوشاح خلال النطاق الانسيابي (أستينوسفير) ويمر خلال القشرة الأرضية على شكل ريشة من الصهارة تغذي البركان. ونظرا إلى استمرار حركة لوح القشرة الأرضية، فإن البراكين الجديدة تتشكل.



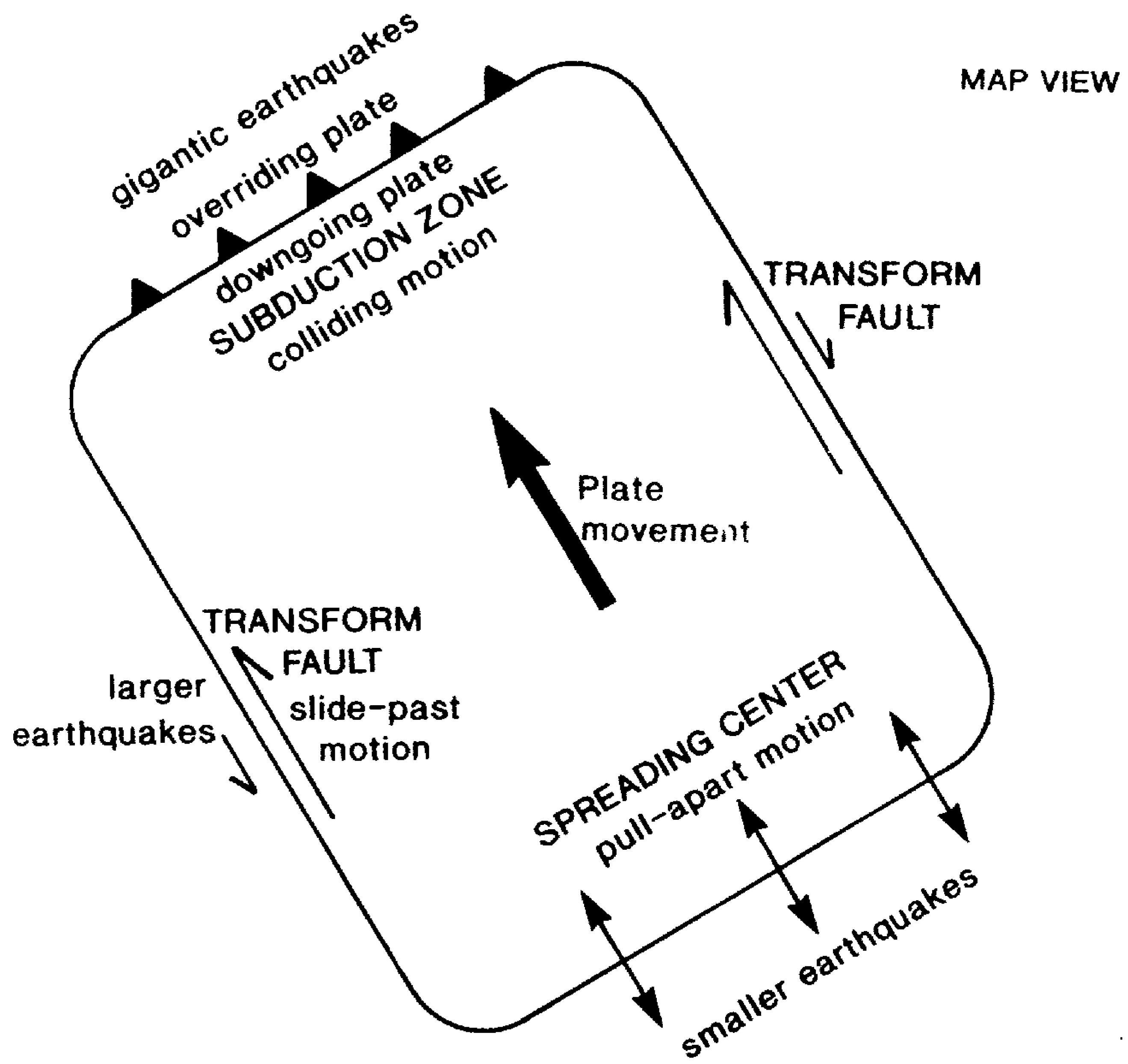
الشكل (١٦ - ٢) قطاع مقطعي للقشرة المحيطية عمودي على سلسلة الأعراف البركانية. فإذا ابتعدنا عن السلسلة وجدنا أن: (١) الأعمار المقاسة بالمواد المشعة للقشرة المحيطية تزداد، (٢) سمك الطبقات الرسوبية المتجمعة يزداد، (٣) أعمار الحفائر في الرواسب تزداد. أما الزيادة المنتظمة في عمق الماء فترجع إلى التبريد والتقلص والزيادة في كثافة الصخور المعمره في قاع البحر.



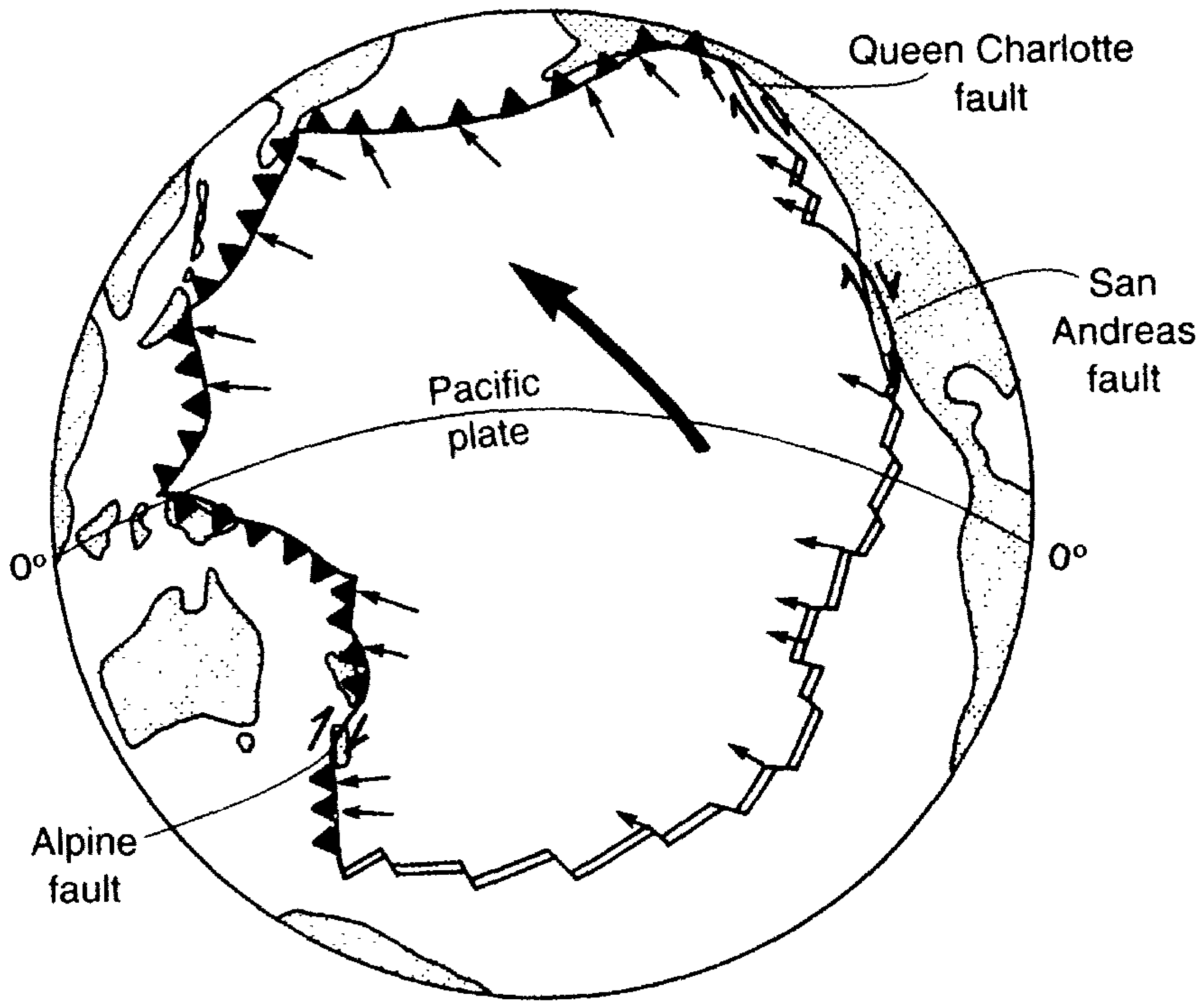
الشكل (١٧-٢) أم القارات بانجايا منذ ٢٢٠ مليون سنة من الآن. والقارات الحالية سُحِبَتْ لتمييزها بعد إعادة تجميعها. وأبو المحيطات في ذلك الوقت (بانثالاسا) يعرف الآن بعد أن تقلص بالمحيط الهادى.



الشكل (٢ - ١٨) رسم تخطيطي يوضح عمليات الألواح التكتونية في جزء من عالم اليوم. فالبحيط الأطلنطي يتسع نظرا للانتشار النشط في سلسلة الأعراف البركانية في منتصف المحيط. وتركب قارة أمريكا الجنوبية المتحركة غربا فوق لوح المحيط الهادى المنضوى تحت المحيط الهادى؛ ويشكل ميل اللوح المنضوى إلى أسفل خندقا محيطيا عميقا.



الشكل (١٩-٢) تصوّر مثالي للوح واحتمالات حدوث الزلازل على حوافه.



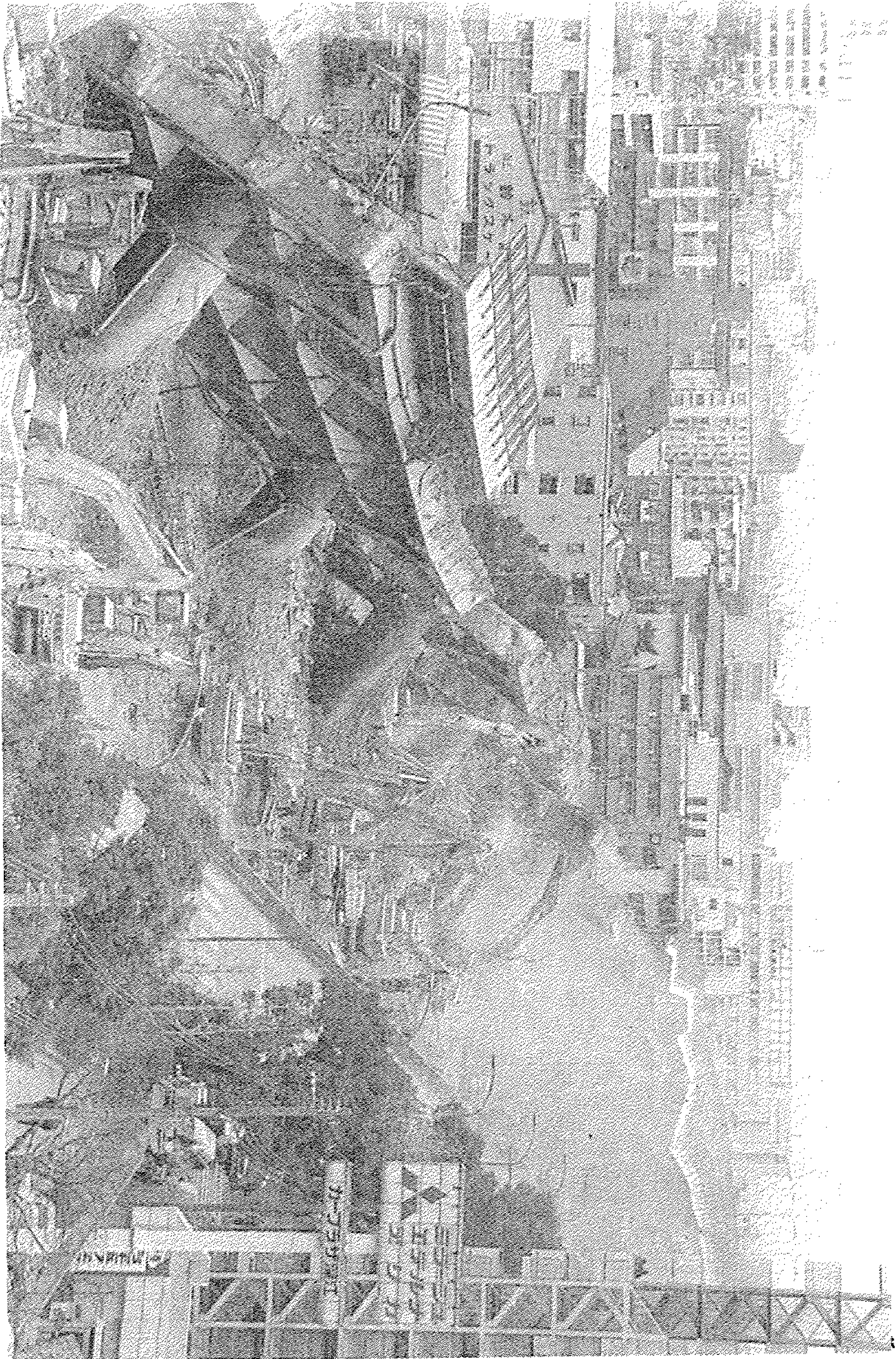
الشكل (٢٠-٢) لوح المحيط الهادى هو أكبر ألواح العالم؛ ويقع تحت جزء من المحيط الهادى. وحوافه الشرقية والجنوبية فى معظمها مراكز انتشار تمتاز بزلزلاتها الصغيرة والمتوسطة الحجم. وتوجد على طول جوانبه فى كندا (كوين شارلوت)، وكاليفورنيا (سان أندرياس)، ونيوزيلاند (ألباين) صدوع تحويلية؛ تتميز جميعها بالزلازل الكبيرة الحجم. وتقع مناطق الانضواء على طول حوافه الشمالية والغربية، من ألاسكا حتى روسيا واليابان والفلبين وإندونيسيا ونيوزيلاند؛ وتتميز جميعها بالزلازل العملاقة.



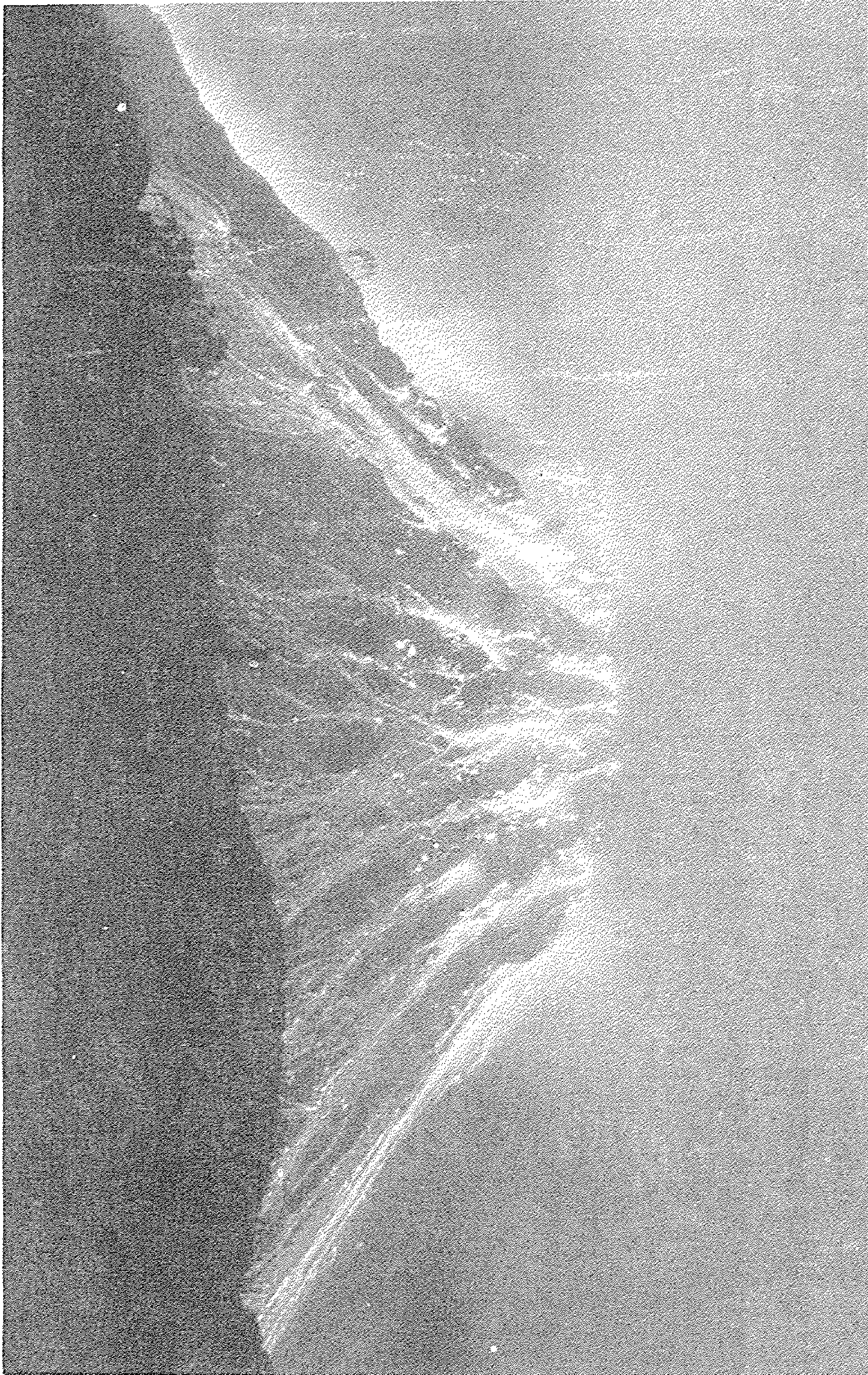
الصورة (١) الحرارة الداخلية في جوف الأرض تزود الزلازل بالطاقة. انهار بناء سكني فوق سيارات السكان في كانوجا بارك بولاية كاليفورنيا، أثناء زلزال نورثريدج في ١٧ يناير ١٩٩٤.



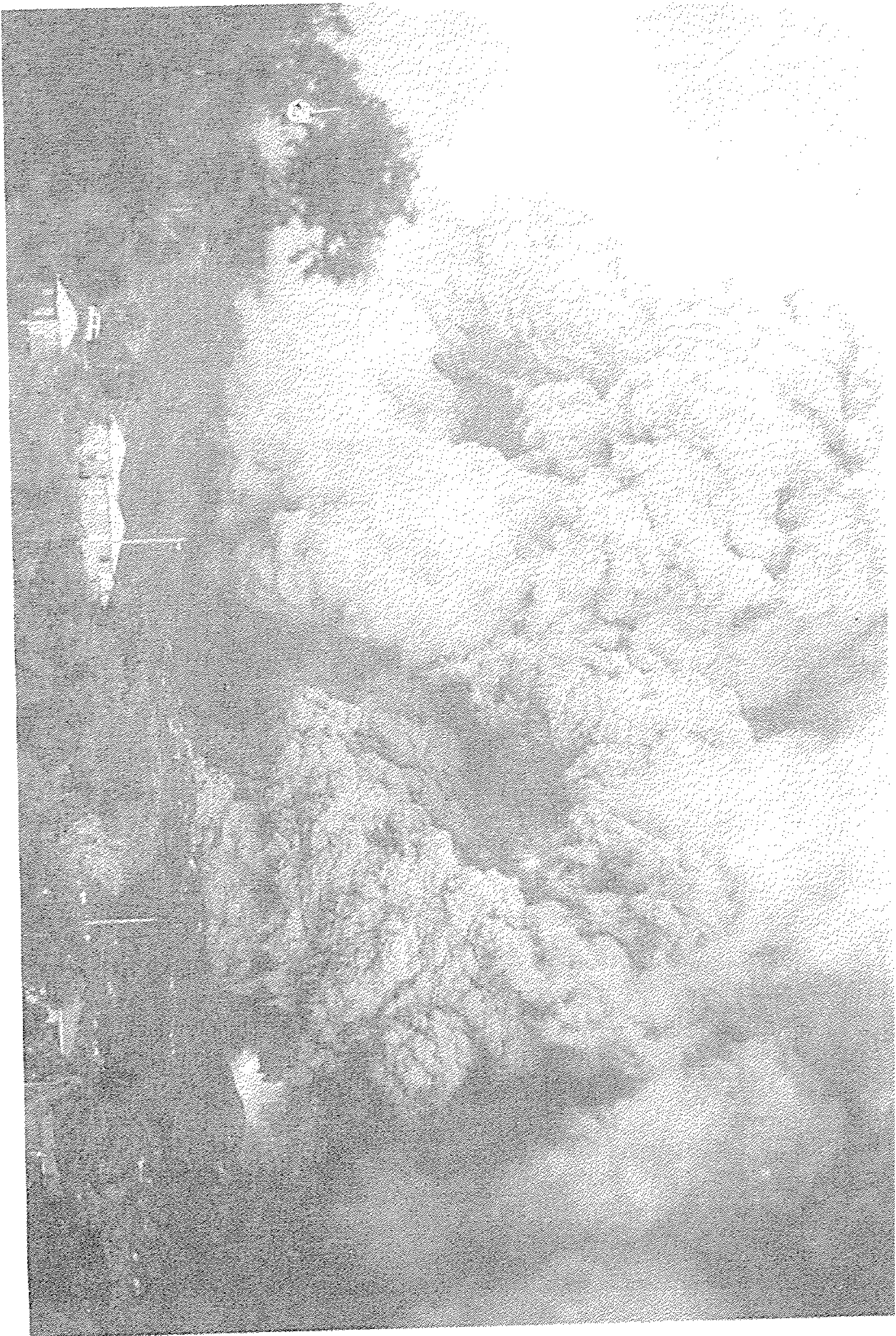
الصورة (٢) الحوارة الداخلية في جوف الأرض تزود الزلازل بالطاقة. زلازل نمطي لا يتسبب فقط في تدمير المباني، بل يحدث الحرائق أيضا. قطاع في مدينة كوبي في اليابان يشتمل في يوم ١٧ يناير ١٩٩٥ في أعقاب زلازل قوته ٦.٩ قتل فيه ٦.٣٠٨ شخصا.



الصورة (٣) العرارة الداخلية في جوف الأرض تزود الزلازل بالطاقة. حتى الدعامات الضخمة المسلحة بالصلب والخرسانة لم تستطع حمل طريق كوبي - أوساكا العلوى أثناء زلزال عام ١٩٩٥. وانتهيار هذا الطريق يؤكد صدق المقولة: «إن الزلازل لا تقتل ولكن المباني هي التي تفعل ذلك».



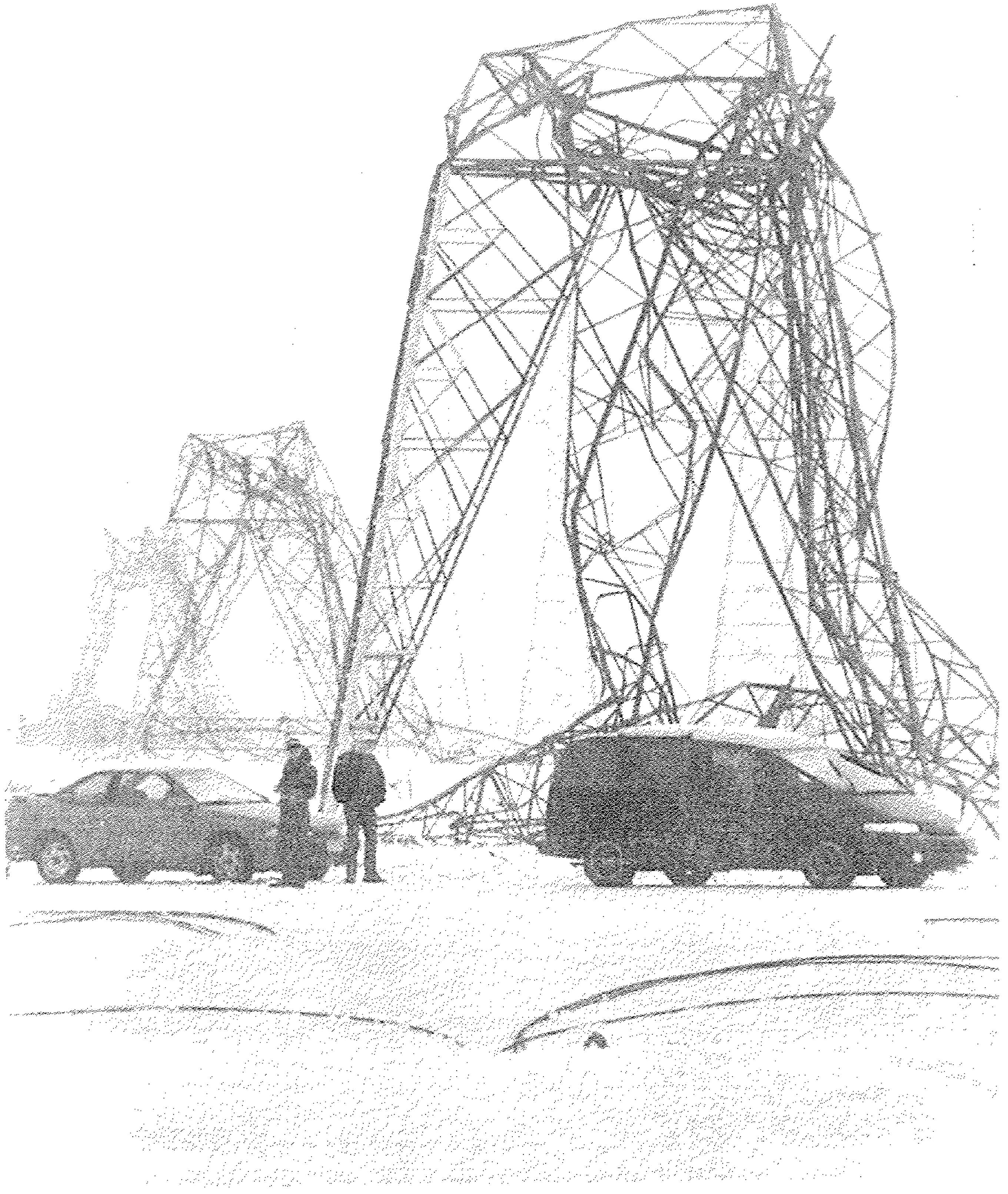
الصورة (٤) الطاقة الداخلية للأرض تغذي البراكين. بركان سوفريير هيلز يتوهج عندما تطفح منه الصحارة اللزجة وتتدفق إلى أسفل الجبل في جزيرة مونتسيرات في البحر الكاريبي في يوم ٨ يناير ١٩٩٧.



الصورة (٥) الطاقة الداخلية للأرض تغذي البراكين. ثورة بركان سوفريير هيلز في شهر يونية ١٩٩٧ بث تدفقات ركامية متفتتة من الصحارة المفتتة والغارات الفائقة الحرارة في مدينة بلايموث في مونتسيرات. ورغم أن المدينة أخلت من السكان فقد عاد ٢٤ شخصا إلى منازلهم ولقوا حتفهم من هذا التدفق.



الصورة (٦) قوة سحب الجاذبية تسقط حوائط الجبال. سقطت كتلة ضخمة من صخر الجرانيت الجاف وزنها ١٦٢,٠٠٠ طن تقريبا وتحطمت وتخرجت خلال ميدان فسيح على أرض مغطاة بالأشجار في يوسيماتيت ناشيونال بارك في ولاية كاليفورنيا في يوم ١٠ يوليو ١٩٩٦. ومما يثير الدهشة أن شخصا واحدا لقي مصرعه.



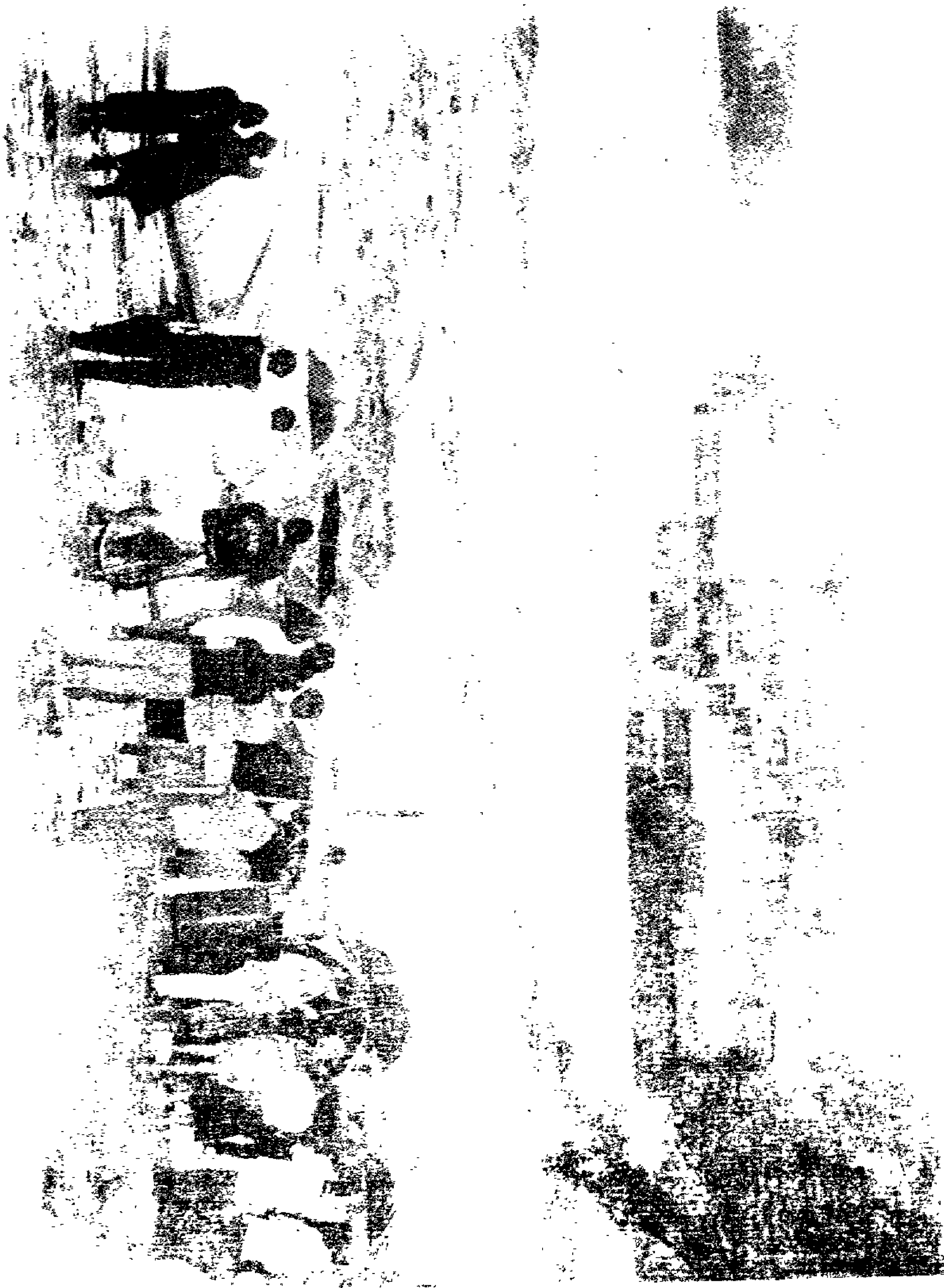
الصورة (٧) الطاقة الخارجية المنبعثة من الشمس موزعة توزيعا غير عادل. عاصفة جليدية ظلت ٨٠ ساعة تمطر مطرا جليديا غطى أبراج كهرباء الضغط العالي التي انهارت من كثرة أحمال الجليد كما هو واضح هنا بالقرب من سانت برونو جنوبى مونتريال فى كويبيك فى يوم ١٠ يناير ١٩٩٨. وكانت العاصفة الجليدية فى كناد فى ١٩٩٨ أعظم الكوارث الطبيعية المكلفة فى تاريخ كندا.



الصورة (٨) الطاقة الخارجية المنبعثة من الشمس تغذي الطقس القاسي بما فيه الإعصار القمعي (تورنيو).
رعب التورنيو.



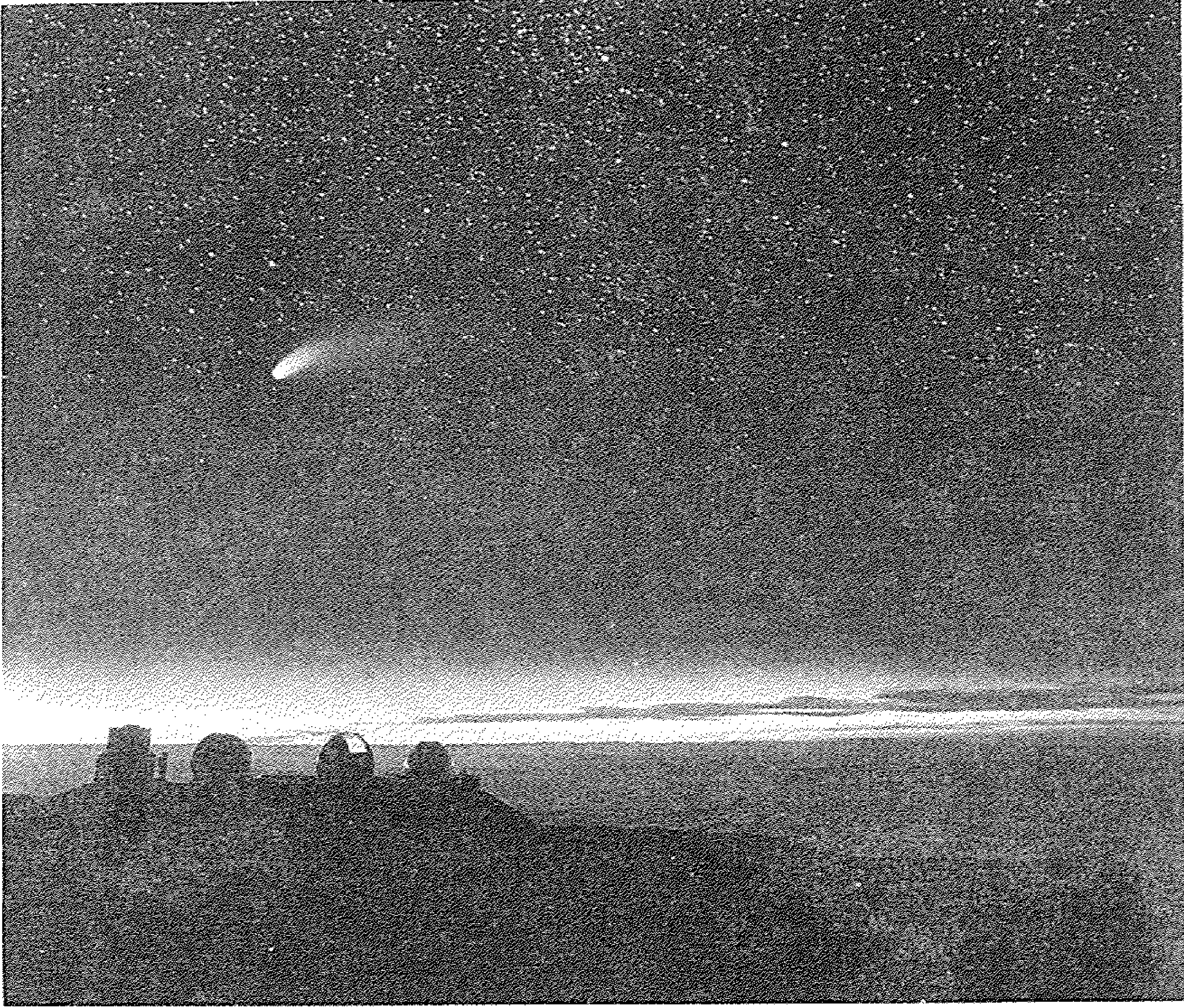
الصورة (٩) الطاقة الخارجية المبنية من الشمس تغذي التوربينو. إعصار مدينة أوكلاهوما القمعي في يوم ٥ مايو ١٩٩٩ خلف آثارا للتدمير في مدينة ميدويست وقتل أكثر من ٤٠ شخصا وأثار رياحا ضربت الرقم القياسي في السرعة التي بلغت ٣١٨ ميلا/ساعة.



الصورة (٨٠) الطائفة الخارجية المأويّة من الشمس تقوى الأعاصير الرعدية البرقية المطرة (موريكين) وتزيد أمطارها وفيضاناتها.
 إلى سنة ١٩٥٠، الناس الذين حذروا ذبالة ساحل هوندوراس ونيكاراجوا من يوم ٢٧ حتى ٢٩ أكتوبر ١٩٩٨ محدثاً رقماً قياسياً
 في الأمطار التي تسببت في مقتل ألفين وثمانمائة شخصاً، وتوضيح الصورة المواطنين وهم يشاهدون فيضان نهر كولاتيكا في
 ١٩٩٨، كالانسي عذبة، في ٢٧ نوفمبر ١٩٩٨.



الصورة (١١) الطاقة الخارجية المنبعثة من الشمس تختزن في النباتات ويمكن أن تخلصها منها الحرائق. يرتفع اللهب مئات الأقدام في الهواء عندما اندلع حريق عاصف في ووكر رانش دون سيطرة عليه بالقرب من جبل فلاجستاف غربى بولدر فى ولاية كولورادو فى يوم ١٧ سبتمبر ٢٠٠٠. وشهد عام ٢٠٠٠ عدد ٦٦ من الحرائق الكبيرة التى اندلعت فى ١١ ولاية.



الصورة (١٢) الكويكبات والمذنبات تستطيع أن تضرب الأرض وتدمر الحياة على نطاق واسع.
المذنب هالي - بوب بالقرب من الأرض وهو يلمع في شريط مضيء فوق قبة المنظار على ارتفاع
٤,٢٠٥ مترا في موناكيا في هاواي في أوائل عام ١٩٩٧.

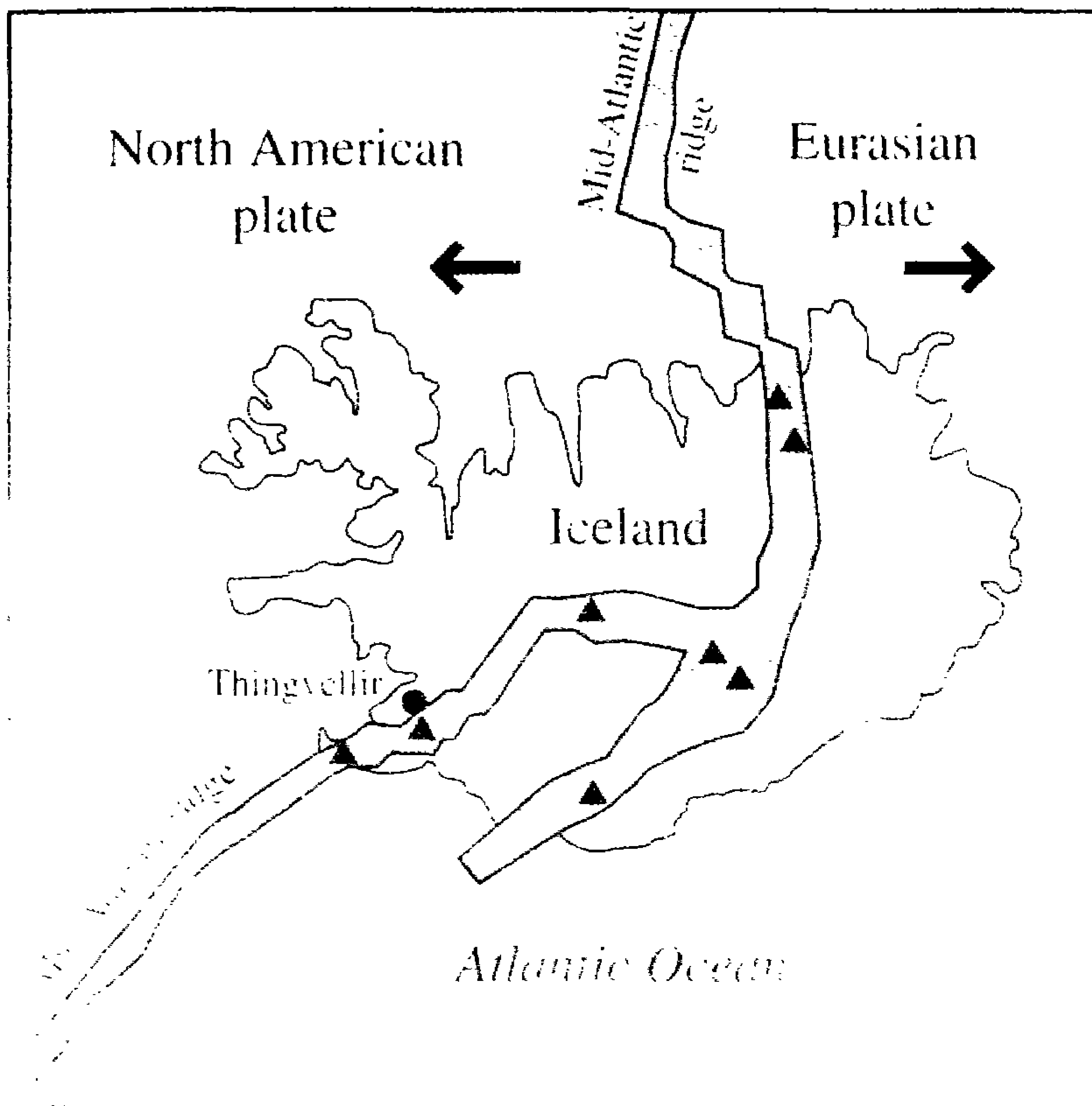
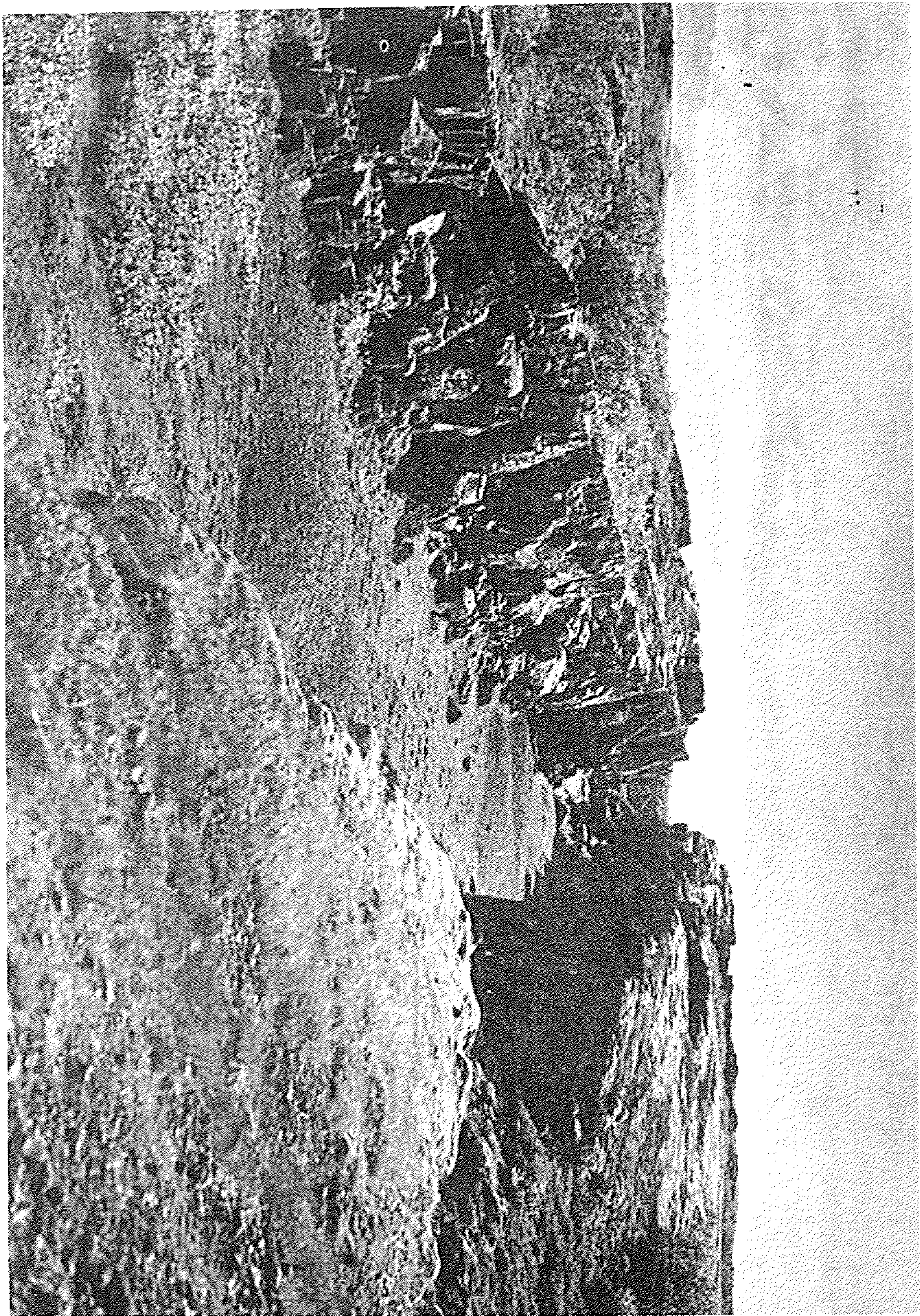
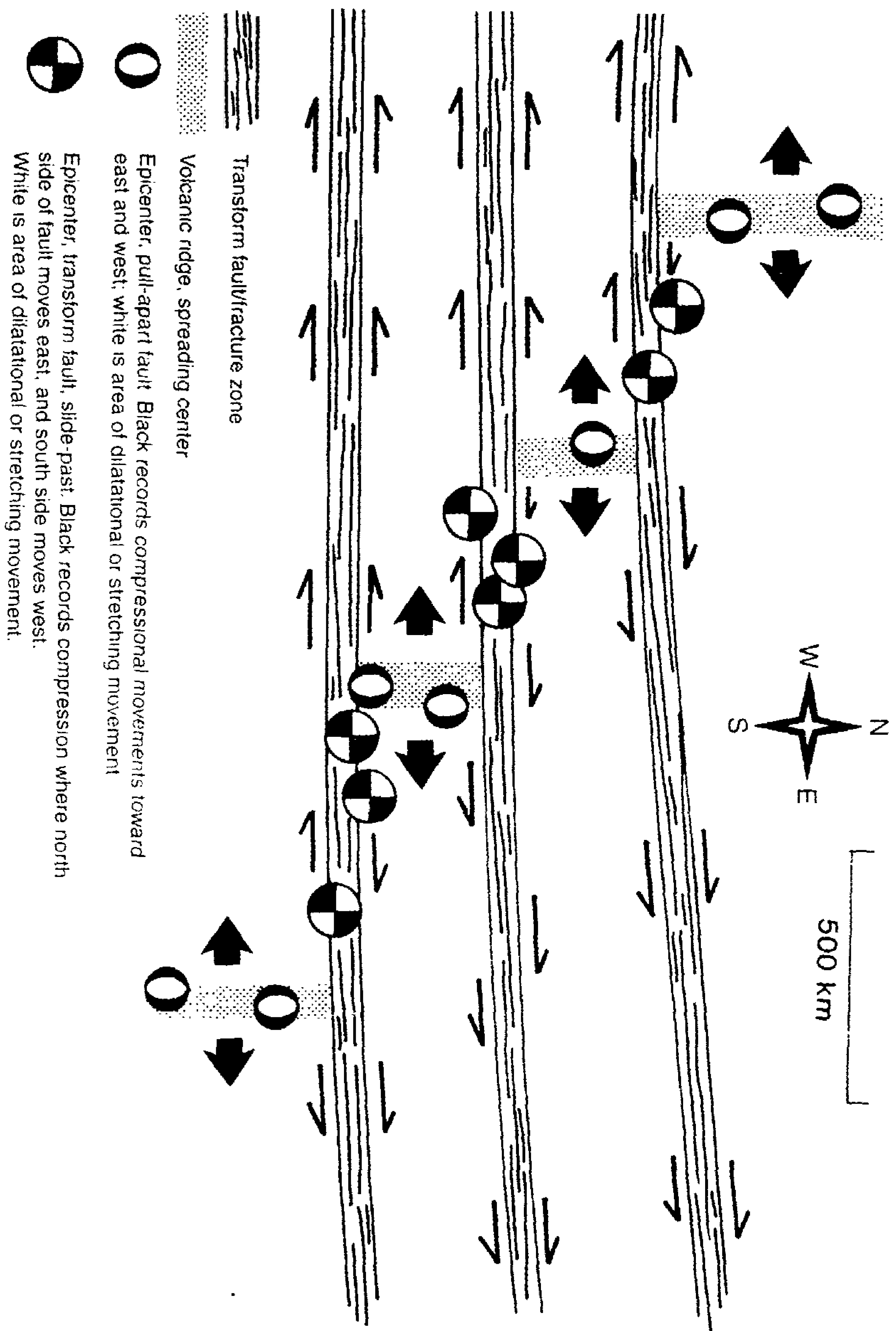


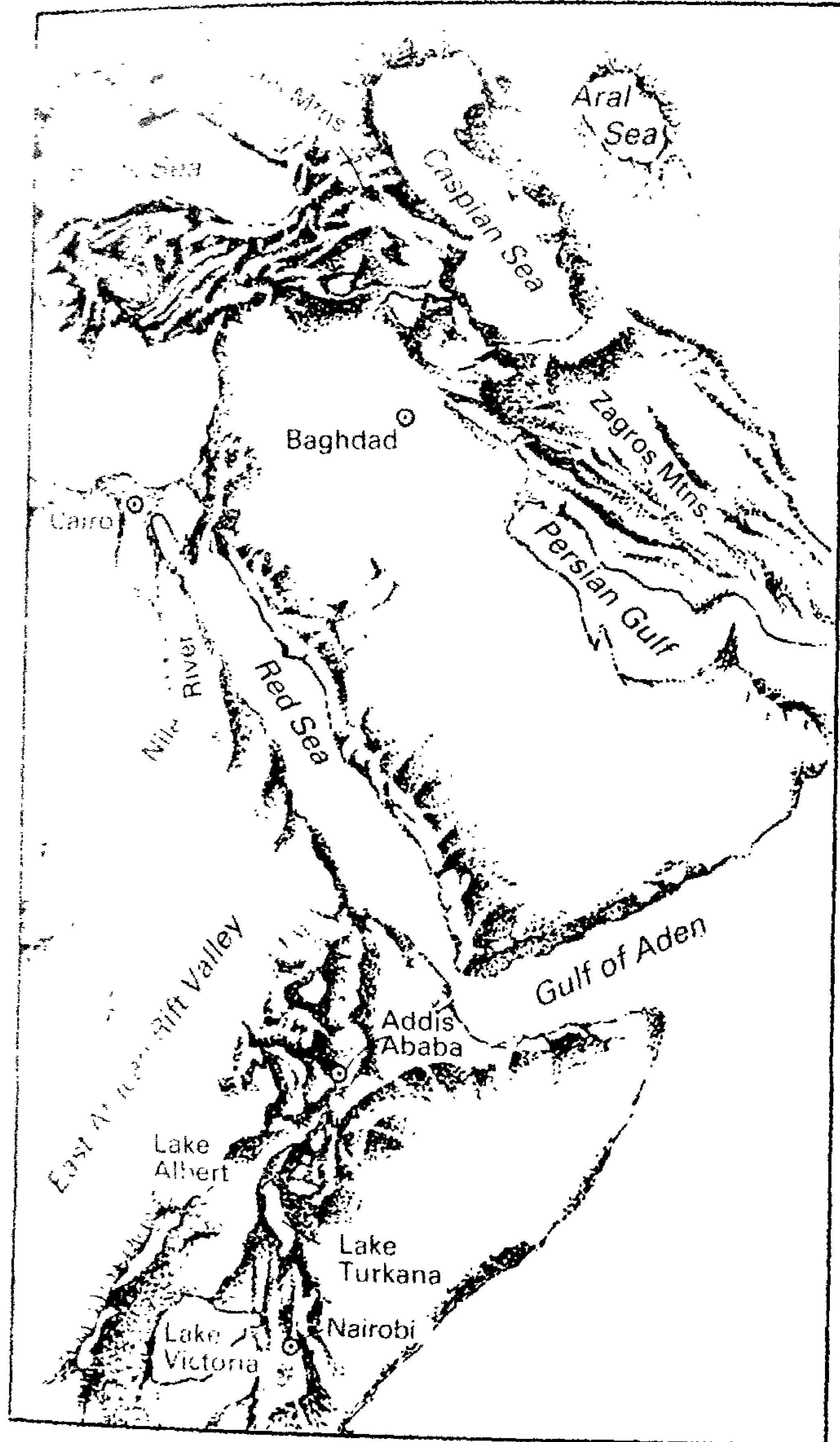
Figure 1. Tectonic setting of Iceland.



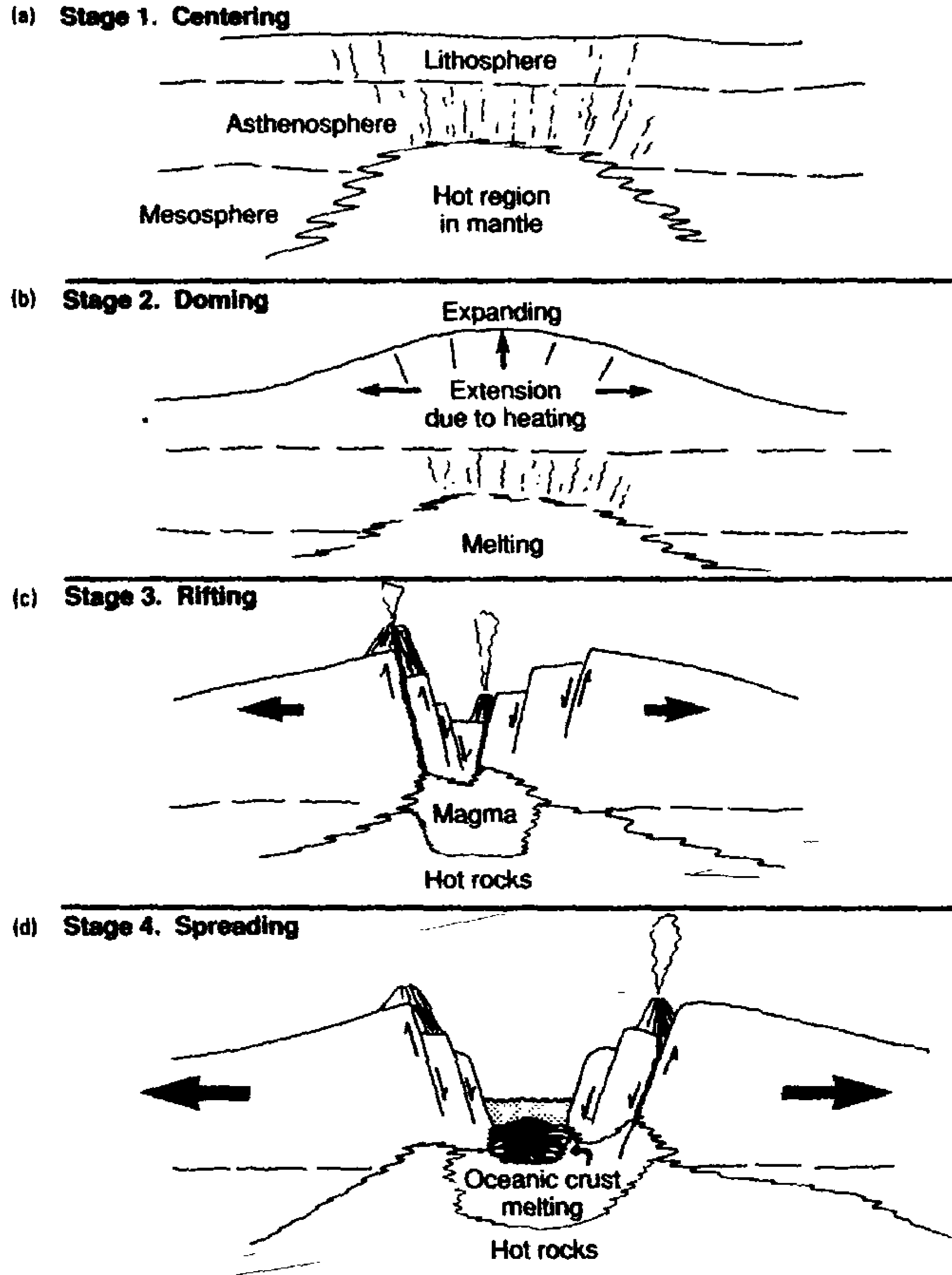
الشكل (٢-٢٢) انظر جنوبا على طول الشق في ثينج فيلير، في آيسلاند. فهذا هو وادي الأخدود تباعد طرفاه في اتجاه شرقي وغربي باستمرار انتشار حوض المحيط الأطلنطي.



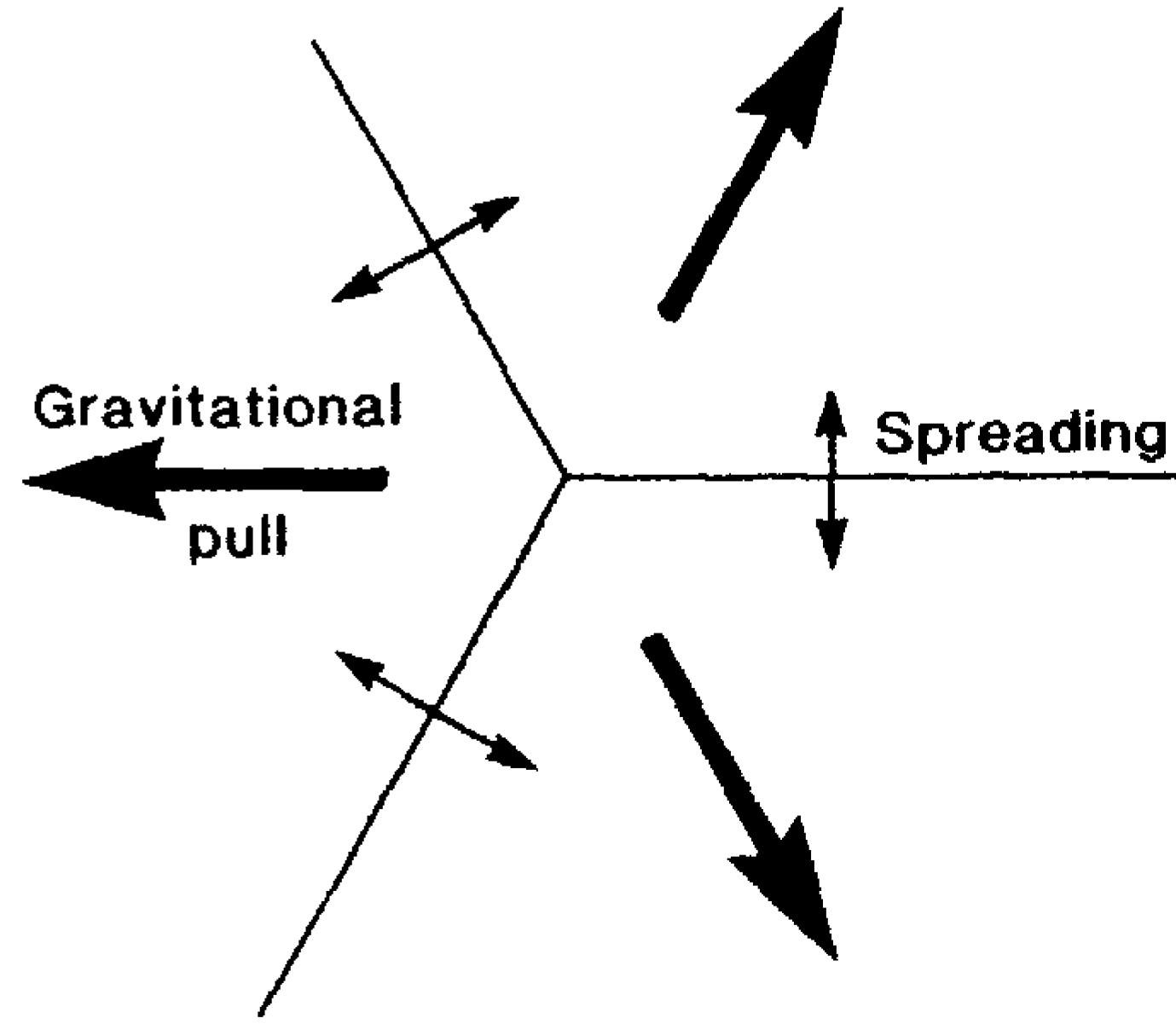
الشكل (٢-٢٣) مركز انتشار ذو زلازل متوسطة القوة ينتقل من صدع تحريكى اعتاد على الزلازل الكبيرة.



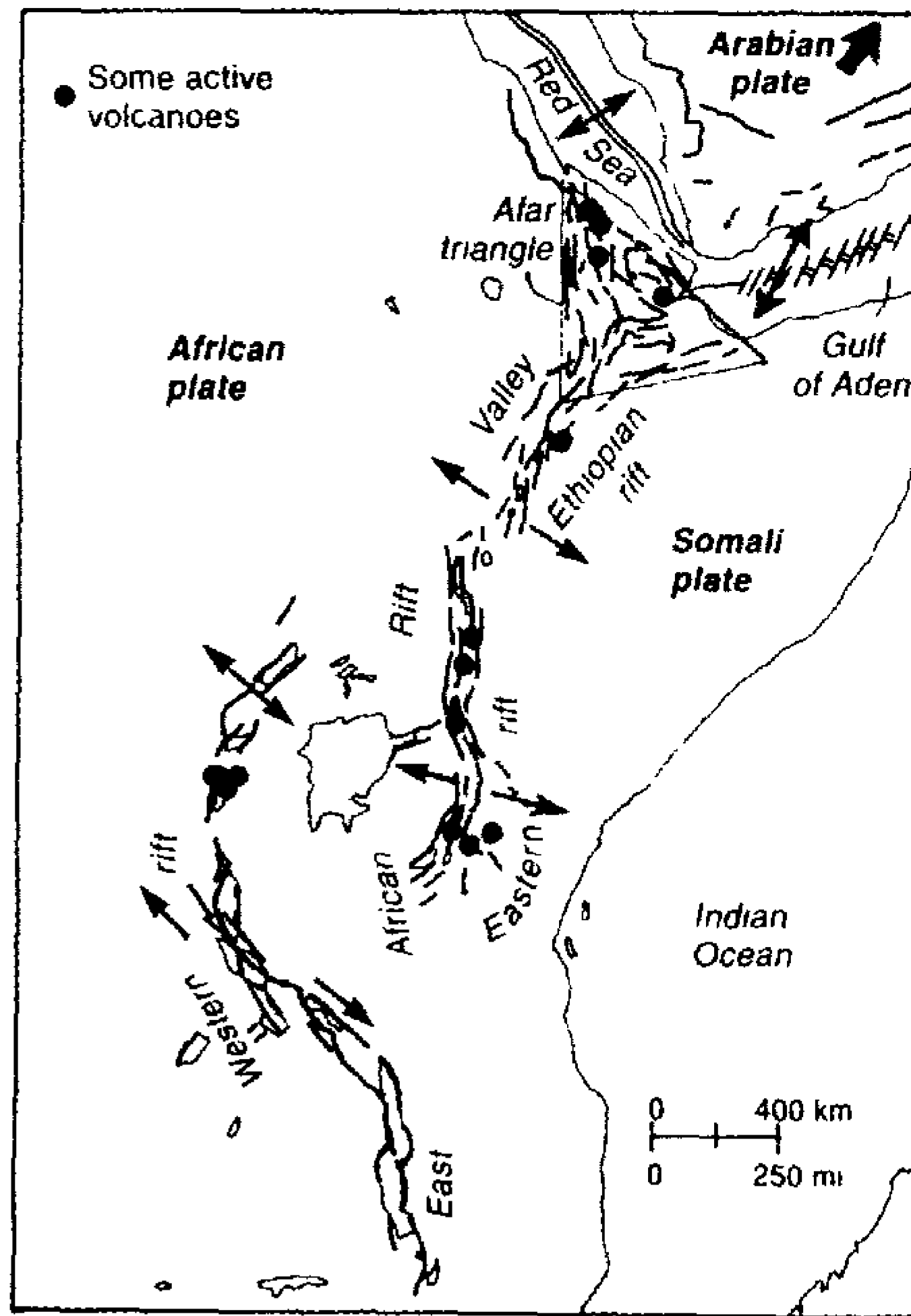
الشكل (٢-٢٤) تضاريس طبوغرافية في شمال شرقي أفريقيا وشبه الجزيرة العربية.



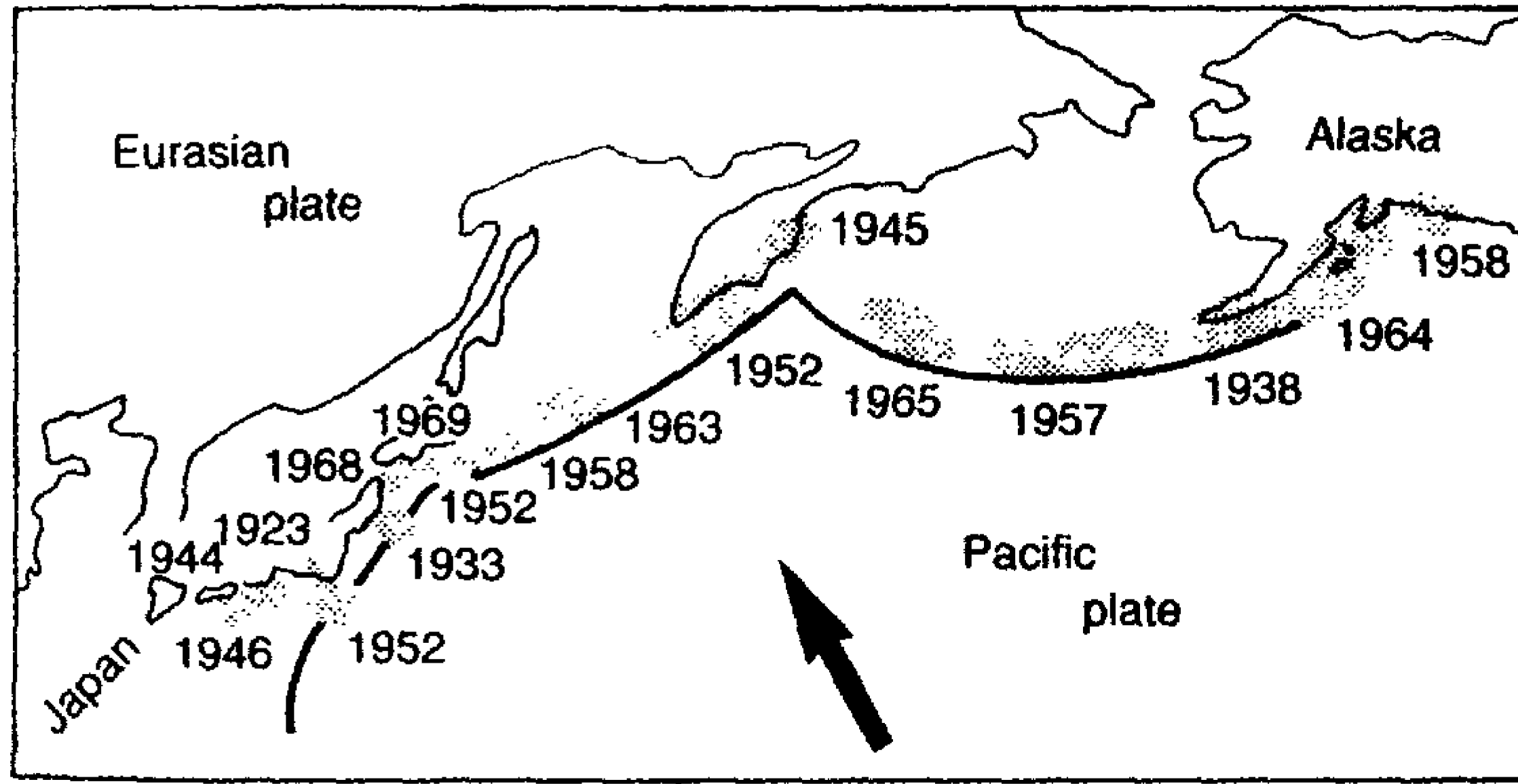
الشكل (٢-٢٥) مراحل تكوين حوض المحيط. (أ) المرحلة ١، التمرکز: تحرك مراكز القشرة الأرضية فوق إقليم ساخن بصفة خاصة في الوشاح. (ب) المرحلة ٢، التقبب: تؤدي حرارة الوشاح إلى تمدد القشرة الأرضية/ المحيطية التي تعلوها. وبازدياد الحرارة يرتفع سطح القبة ويتمدد ويتشقق. (ج) المرحلة ٣، التشقق: ويتمدد الحجم تسحب الجاذبية المنطقة المرتفعة بعيدا عن بعضها البعض؛ وتنهار الشقوق فتشكل صدوعا عادية. وتساعد الشقوق/ الصدوع على خروج الصهارة؛ وتشيع البراكين. ثم تتدلى المنطقة المركزية للقبة إلى أسفل مشكلة واديا مثل وادي أخدود أفريقيا الحالي. (د) المرحلة ٤، الانتشار: بازدياد التباعد يتشكل قاع جديد للبحر. ويظهر معظم نشاط الصهارة في انتشار قاع البحر، كما هو الحال في البحر الأحمر وخليج عدن.



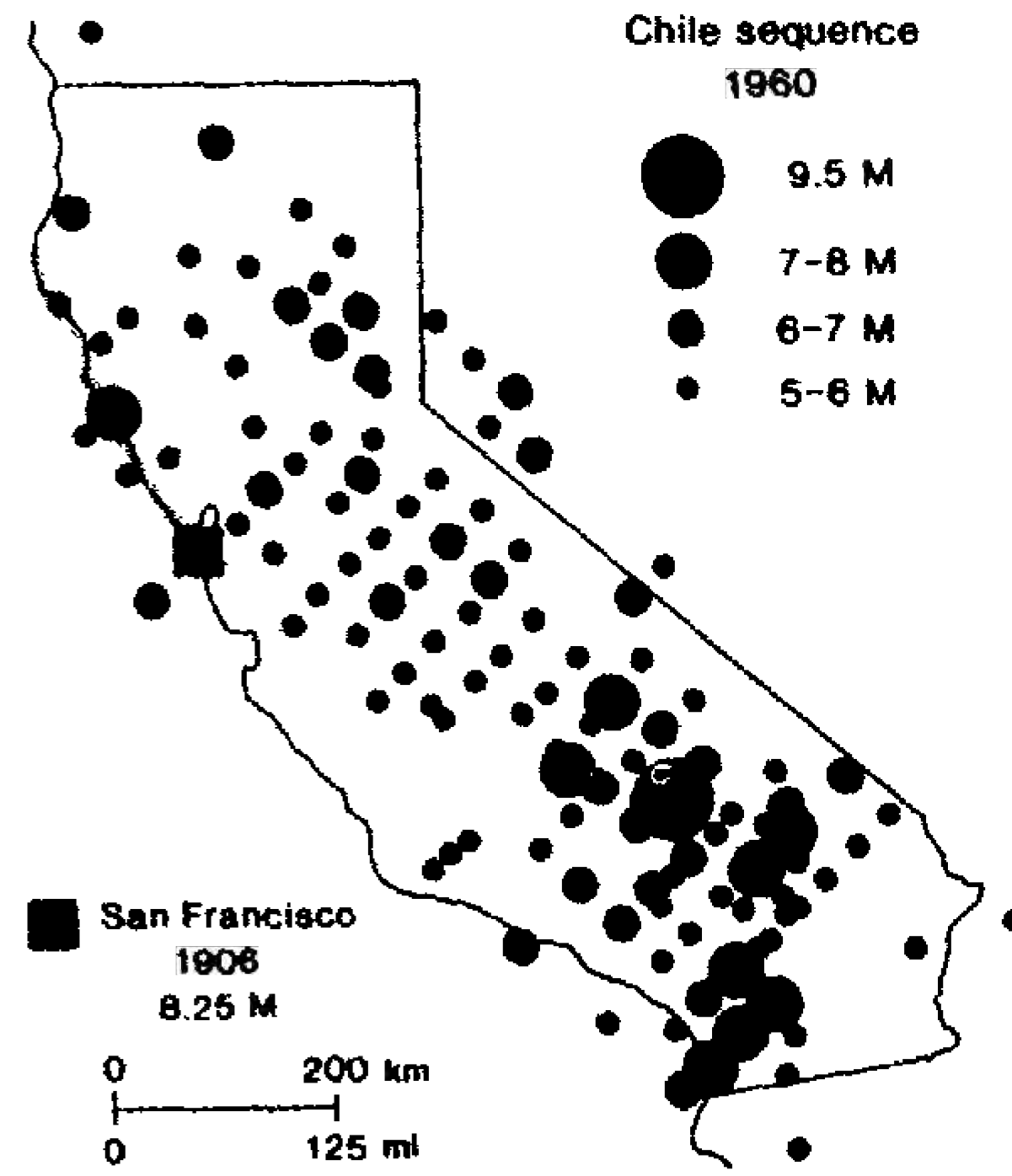
الشكل (٢٦-٢) خريطة تخطيطية لنقطة اتصال ثلاثية تشكلت من ثلاثة مراكز انتشار شابة. فالحرارة تتركز في الوشاح وترتفع في ريشة الصحارة، وتقرب القشرة الأرضية التي تعلوها وتؤدي إلى تشقق ذي ثلاثة أحاديد بنظام دائري. وتسحب الجاذبية القبة في تباعد محدثة انتشارا في كل أبعاد.



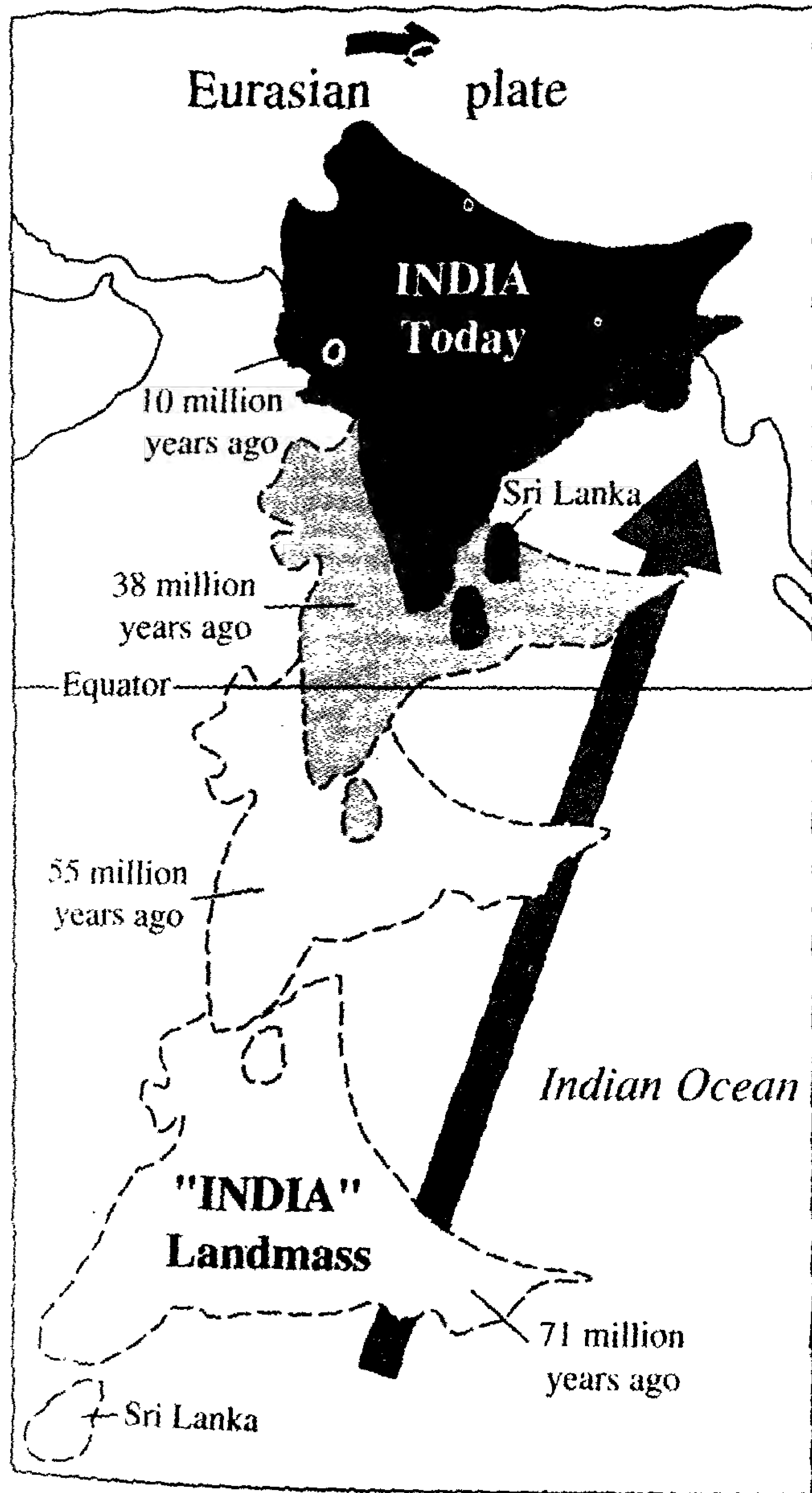
الشكل (٢٧-٢) تمزق شمال شرقي أفريقيا بفعل ثلاثة مراكز انتشار تلتقي في نقطة اتصال ثلاثية في مثلث آفار.



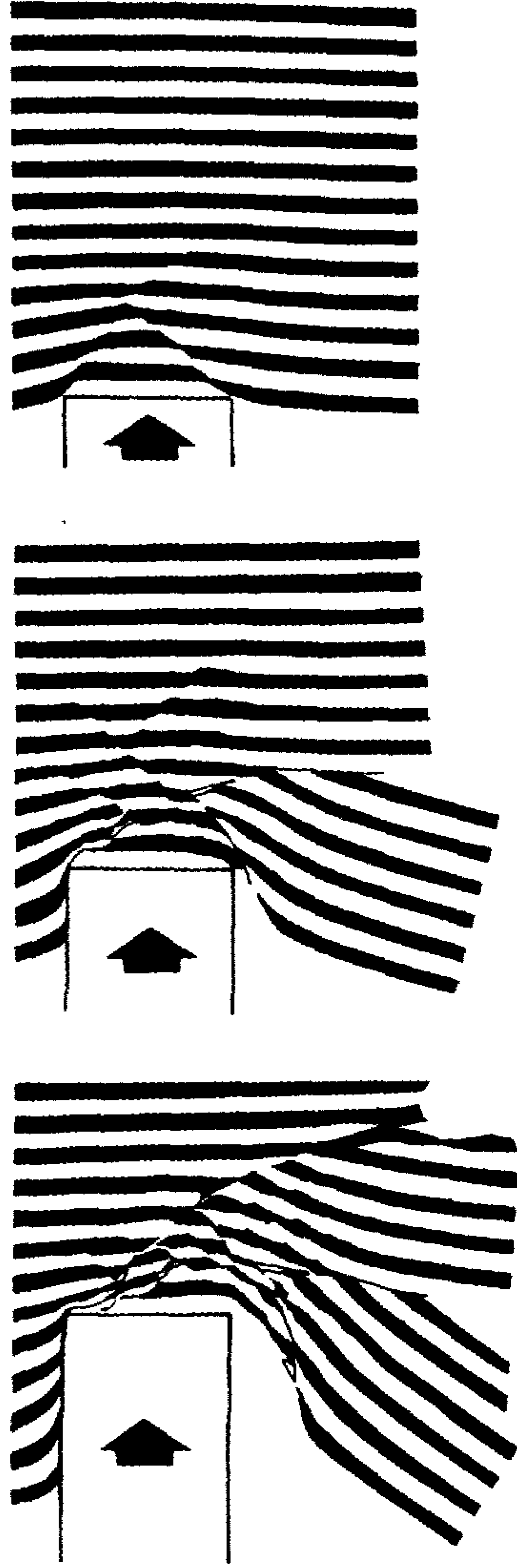
الشكل (٢-٢٨) المناطق المنقطة توضح المناطق التي اهتزت بعنف بالزلازل الموضحة تواريخها قرين كل منها جرأ انضواء لوح المحيط الهادى. وباستخدام طريقة الثغرة الزلزالية اذكر أين توجد المناطق التي تزيد فيها احتمالات وقوع الزلازل القادمة؟



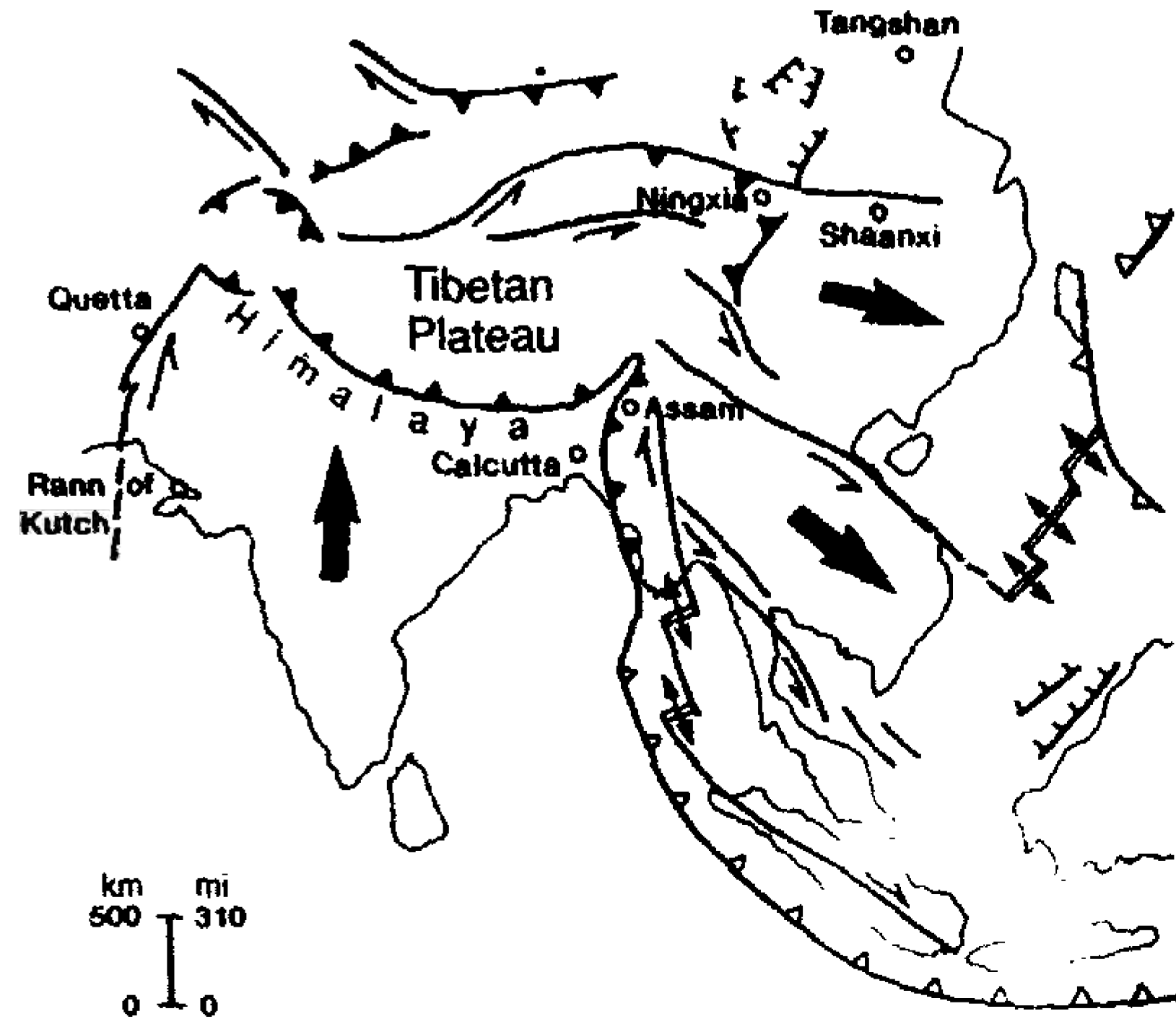
الشكل (٢-٢٩) رصد لمجموعة زلازل شيلي فى عام ١٩٦٠ وضعت بكثرة على كاليفورنيا لمقارنتها بالمناطق التي تأثرت بالزلازل الكبيرة التي وقعت فى مناطق الصدوع التحويلية ومناطق الانضواء. فزلزال سان فرانسيسكو فى ١٩٠٦ كان سببه شق طوله ٤٣٠ كم (٢٦٥ ميلا) من صدع سان أندرياس؛ وأثر على المنطقة الضيقة العليا فى أعلى اليسار (انظر النموذج المنقط). فسلسلة زلازل شيلي فى ١٩٦٠ كانت لها منطقة شق فى لوح الانضواء بطول كاليفورنيا وبعرضها تقريبا؛ فآثر على منطقة واسعة.



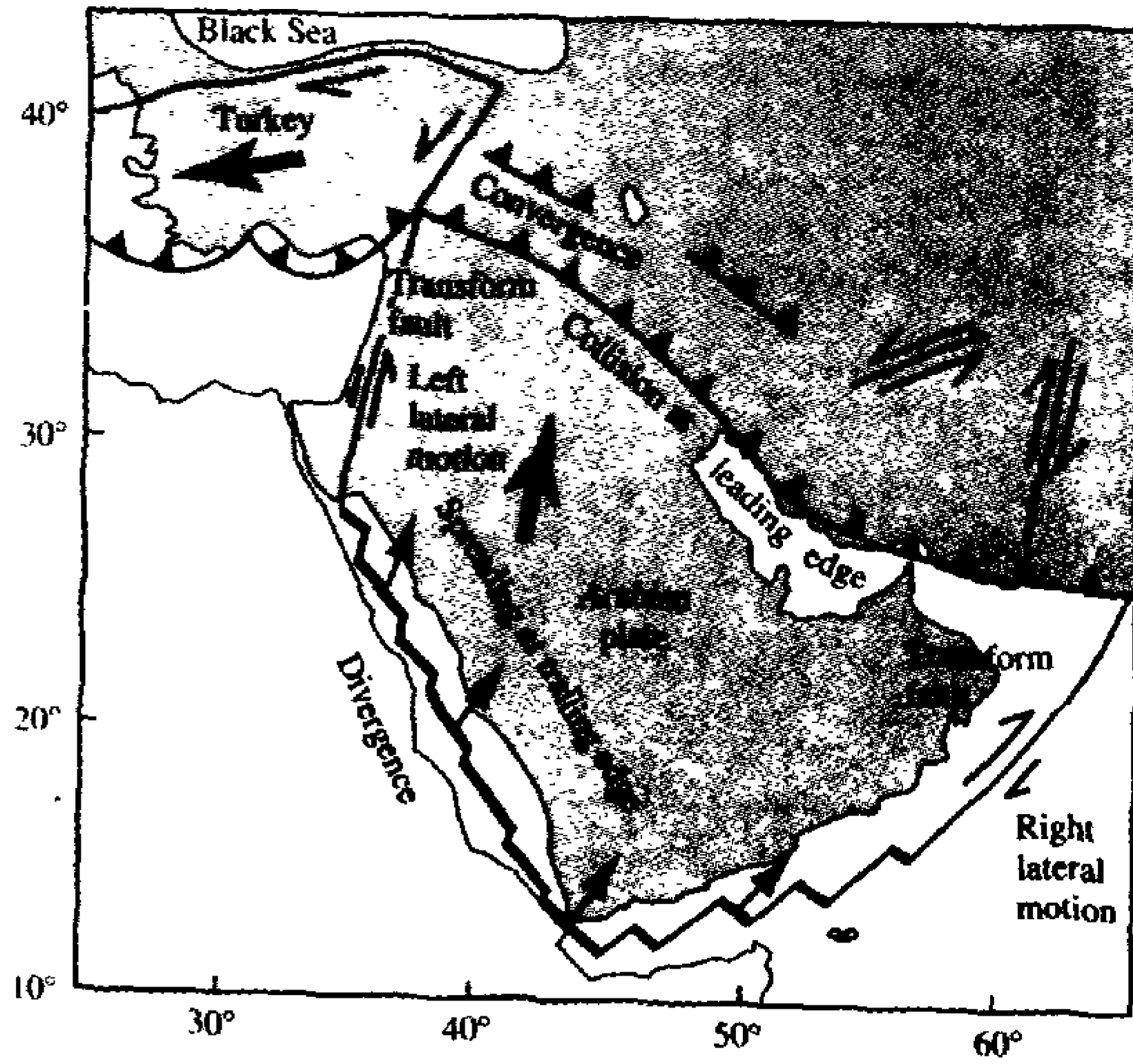
الشكل (٢-٢٠) خريطة توضح حركة الهند أثناء ٧١ مليون سنة الماضية. والهند مستمرة في التعشق في أوراسيا محدثة زلازل كبيرة على طول الطريق حتى الصين.



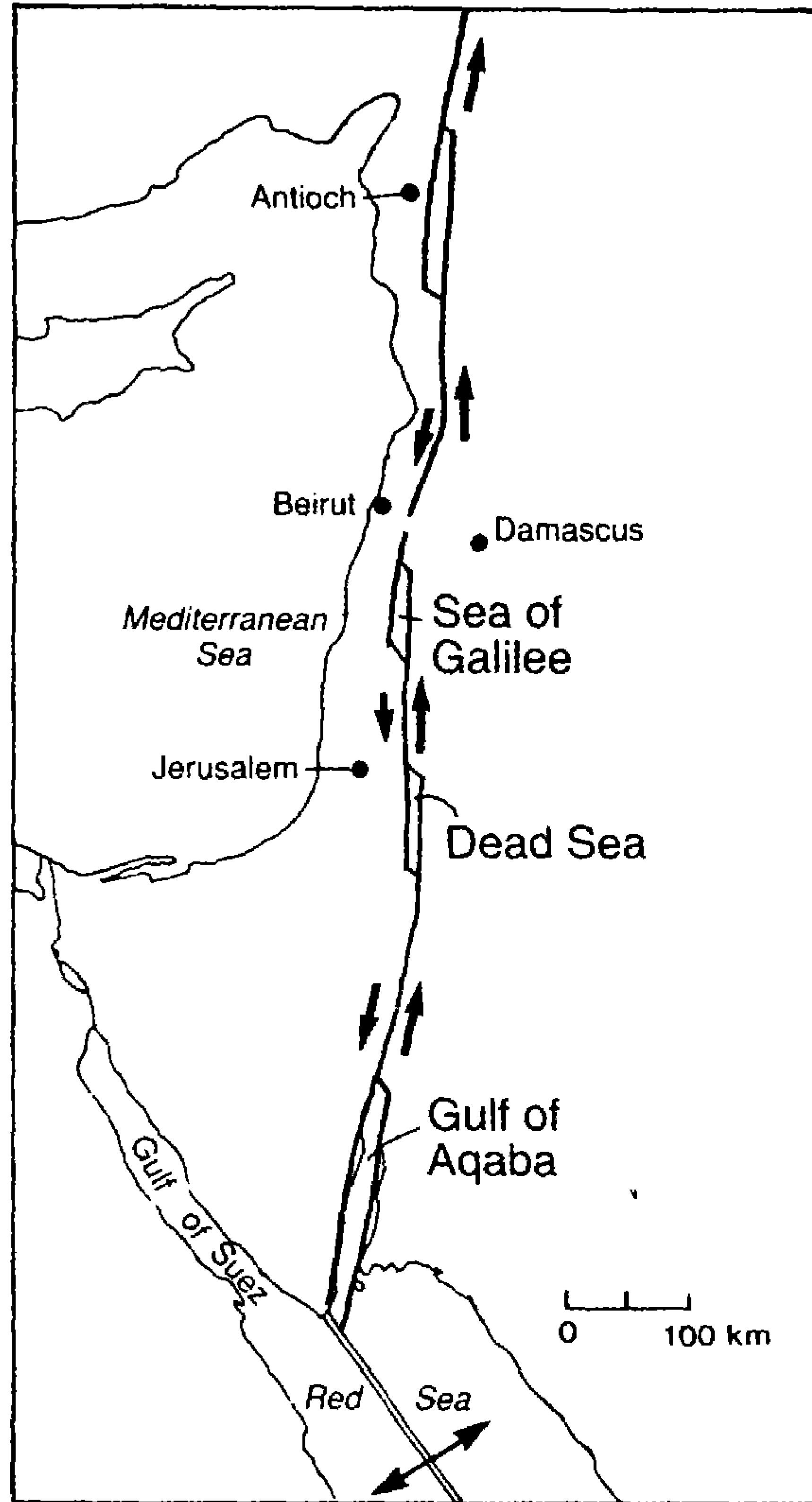
الشكل (٢-٣١) محاكاة لتصادم الهند مع آسيا. فالإسفين يندفع ببطء في طبقة من الطين الصلصالي المقيد على جانبه الأيسر والحر الحركة على جانبه الأيمن. لاحظ من أعلى الشكل إلى أسفله الصدوع الكبرى التي تتشكل والكتل التي تضطر إلى الحركة إلى اليمين. قارن هذا النموذج بالخريطة التكتونية للهند وآسيا في الشكل (٢-٣٢).



الشكل (٣٢-٢) خريطة تكتونية لإقليم الهند-الصين، نماذج الصدوع: (١) صدع مضرب منزلق وتوضح أسهمه اتجاهات الحركة، (٢) دَسْر داخل القارة (صدوع معكوسة) ذات مثلثات سوداء مصممة على الحواف الراكبة؛ (٣) مناطق الانضواء ذات المثلثات المفرغة على حافة الألواح الراكبة.



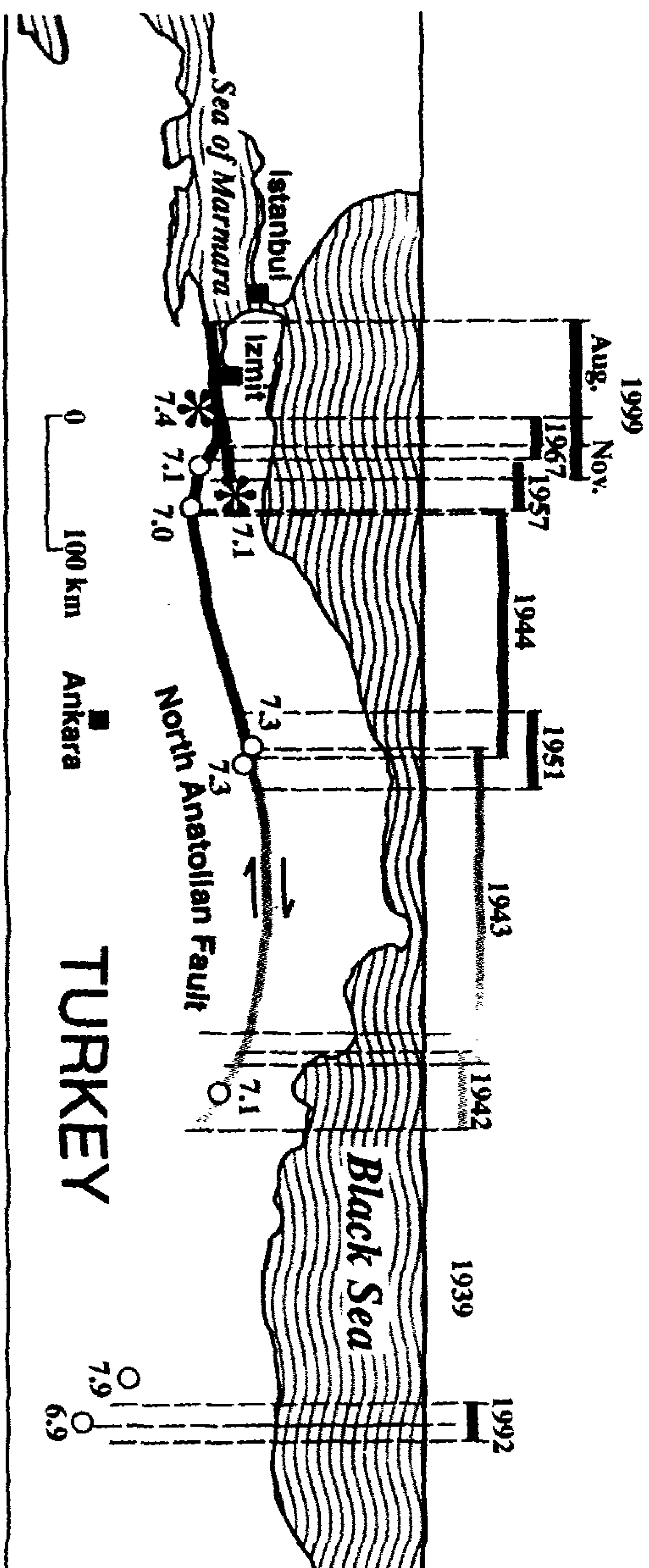
الشكل (٣٣-٢) لوح شبه الجزيرة العربية يتباعد عن أفريقيا ويندفع في أوراسيا؛ ينزلق عند الأرض المقدسة في صدع تحويلي ويضغط على تركيا في اتجاه الغرب.



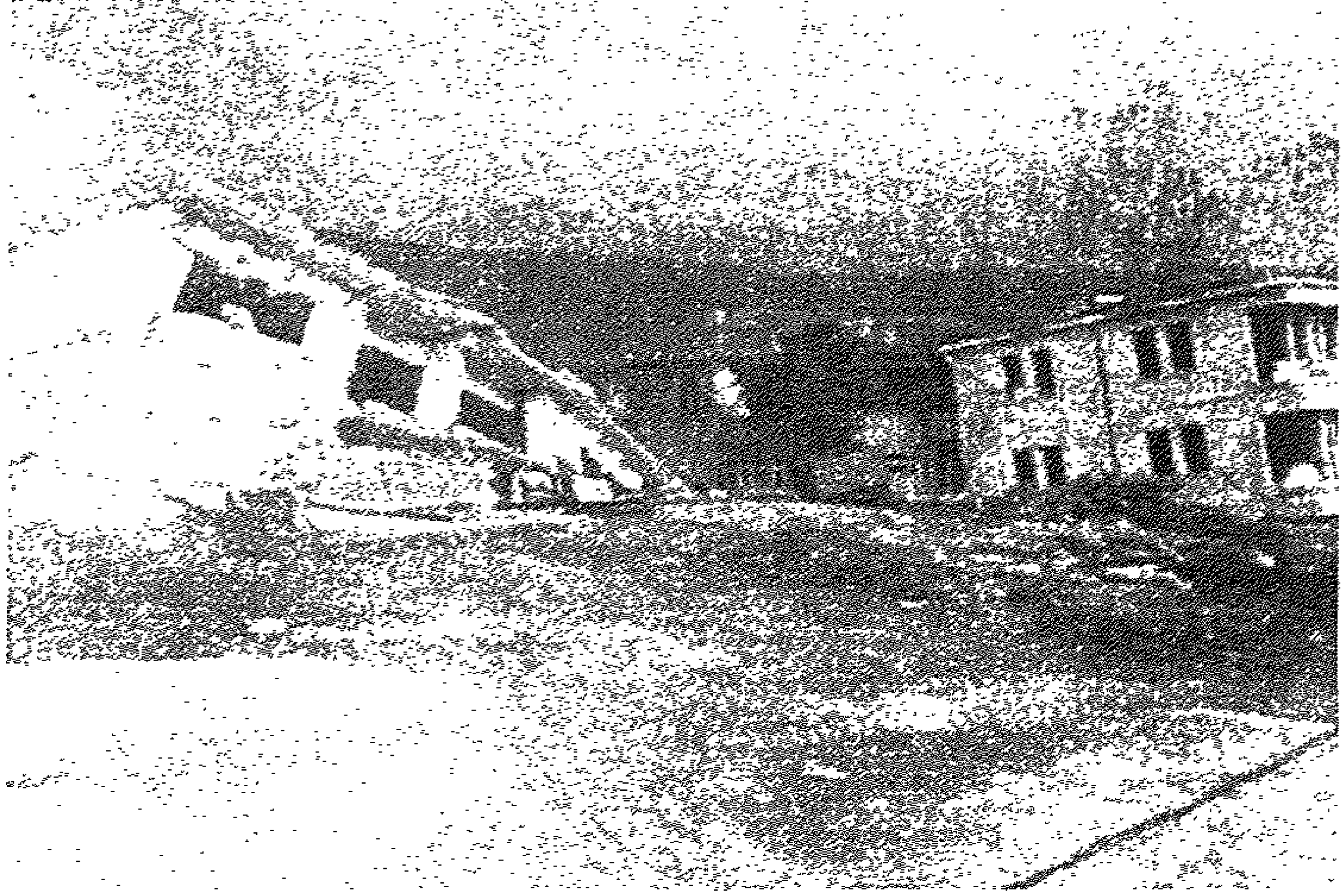
الشكل (٢-٢٤) خريطة لمنطقة صدع البحر الميت. لاحظ الصدوع شبه المتوازية ذات الأحواض المتباعدة في الدرجات بين الصدوع. فحوض البحر الميت العميق؛ وسمك رواسبه ٧ كم (أكثر من ٤ أميال) تحت الماء. وفي يوم ٢١ نوفمبر ١٩٩٥ ضرب زلزال قوته ٧.٢ خليج العقبة فتسبب في حوادث قتل في مناطق تبعد حتى القاهرة في مصر.



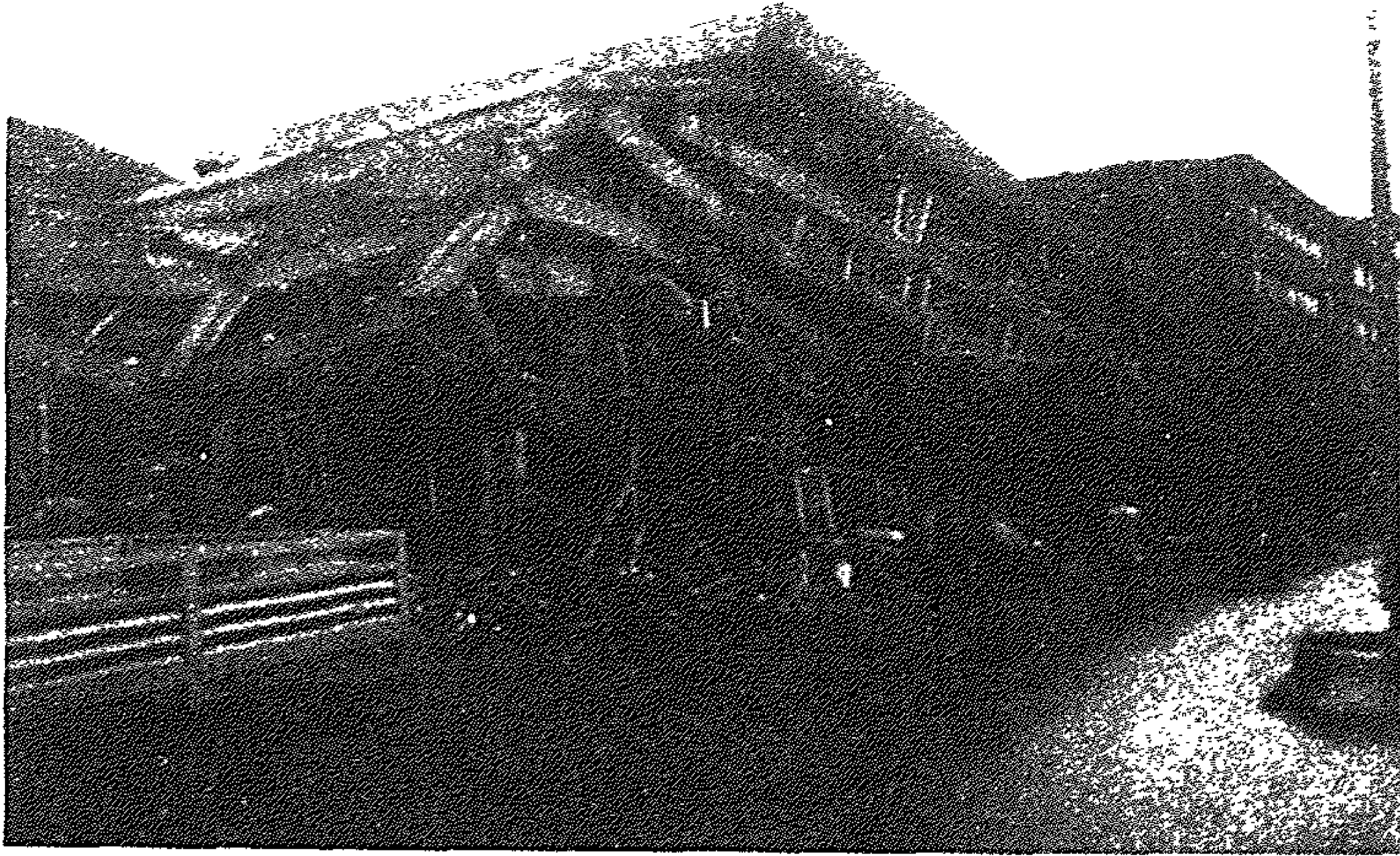
الشكل (٢-٣٥) صورة لصدع البحر الميت مأخوذة من مكوك الفضاء فى يوم ١٤ يونية ١٩٩١. ويمر
صدع البحر الميت من أدنى اليمين إلى أقصى اليسار.



الشكل (٣٦-٢) يستوعب صدع شمالى الأناضول حركة تركيا إلى الغرب في حوض البحر المتوسط. لاحظ التسلسل الزمني لتمزق الصدع. فماذا يحمل المستقبل القريب إستقبول؟



الشكل (٢-٣٧) أرض مزقتها حركة صدع شمالى الأناضول من يمين مركز الصورة حتى مركزها
فى كايناسلى فى تركيا فى يوم ١٢ نوفمبر ١٩٩٩.



الشكل (٢-٣٨) مبنى ذو ستة طوابق انهار فى دوشى فى تركيا فى يوم ١٢ نوفمبر ١٩٩٩ عندما
انهارت دعامات حملة.

جداول الفصل الثاني

الجدول (١-٢) بعض الزلازل في الأرض المقدسة.

Table 2.1 Some Earthquakes in the Holy Land

Year	Magnitude	Year	Magnitude
1927	6.5	1068	6.6
1834	6.6	1033	7.0
1759	6.5	749	6.7
1546	6.7	658	6.2
1293	6.4	363	7.0
1202	7.2	31 B.C.E.	6.3
		759 B.C.E.	7.3

Source: When the Walls Came Tumbling Down. (1991). [Video] Amos Nur, Stanford University.

مراجع الفصل الثاني

نصوص ومراجع مقترحة

Suggested Readings and References

- Ambraseys, N. N., and Adams, R. D. (1989, 7 March). Long-term seismicity of north Armenia. *Eos*, 151-54.
- Bolt, B. A., ed. (1980). *Earthquakes and Volcanoes: Readings from Scientific American*. New York: W. H. Freeman.
- Boore, D. M. (1977, December). The motion of the ground in earthquakes. *Scientific American*, 69-78.
- Cox, A., ed. (1973). *Plate Tectonics and Geomagnetic Reversals*. New York: W. H. Freeman.
- Cox, A., and Hart, R. B. (1986). *Plate Tectonics: How It Works*. Palo Alto and Oxford, England: Blackwell Scientific Publications.
- Dietz, R. S., and Holden, J. C. (1970). The breakup of Pangaea. *Scientific American*, 223, 30-41.
- Glen, W. (1975). *Continental Drift and Plate Tectonics*. Indianapolis: Merrill.
- Kearey, P., and Vine, F. J. (1990). *Global Tectonics*. Oxford, England: Blackwell Scientific Publications.
- Molnar, P., and Tapponnier, P. (1977, April). The collision between India and Eurasia. *Scientific American*.
- Press, F., and Siever, R. (1974). *Planet Earth: Readings from Scientific American*. New York: W. H. Freeman.
- Richter, C. F. (1958). *Elementary Seismology*. New York: W. H. Freeman.
- Stefansson, R. (1979). Catastrophic earthquakes in Iceland. *Tectonophysics*, 53, 273-78.
- Tapponnier, P., Peltzer, G., LeDain, A. Y., and Armijo, R. (1982). Propagating extrusion tectonics in Asia. *Geology*, 10, 611-16.
- Tarling, D., and Tarling, M. (1971). *Continental Drift: A Study of the Earth's Moving Surface*. Garden City, N.Y.: Doubleday.
- Wyllie, L. A., Jr., and Filson, Jr., eds. (1989). Armenia earthquake reconnaissance report. *Earthquake Spectra*, special supplement.
- Wyllie, P. J. (1976). *The Way the Earth Works*. New York: John Wiley and Sons.
- Yong, C., Tsei, K., Feibi, C., Zhenhuan, G., Qujia, Z., and Zhangli, C., eds. (1988). *The Great Tangshan Earthquake of 1976*. New York: Pergamon Press.

الفيديو

Videos

- Continental Drift and Plate Tectonics. (1988). University of California—Santa Barbara (20 min.).
- The Earth Revealed—Birth of a Theory. (1992). Annenberg/CPB Project (30 min.).
- The Earth Revealed—Plate Dynamics. (1992). Annenberg/CPB Project (30 min.).
- Planet Earth—The Living Machine. (1986). Annenberg/CPB Project (60 min.).
- When the Walls Came Tumbling Down—Earthquakes in the Holy Land. (1991). Amos Nur, Stanford University (56 min.).
- Tibet: Where Continents Collide. (1989). Earth Vision (47 min.).

CD-ROM

القرص الممغنط

- Jones, A., Siebert, L., Kimberly, P., and Luhr, J. F. (2000). Earthquakes and Eruptions: Temporal and spatial display of earthquake hypocenters, seismic-wave paths, and volcanic eruptions. Smithsonian Institution, Global Volcanism Program, Digital Information Series, GVP-2.
- A must have for classroom instruction and personal computer study.

الفصل الثالث

مبادئ أساسية فى جيولوجيا الزلازل وعلم الزلازل

وتقذف الطبيعة المريضة غالبا

أرضنا الحبلى... بثورات عجيبة،

بآلام المخاض والقولون والقرص العنيف

وتحبس الرياح الجامحات داخل بطنها

تلك التى تقاوم التضخمات

وتهز أرضنا التى تصير كالعجوز

وتطيح بأبراج الكنائس

وتهدم الجدران فى القلاع ذات أنواع الطحالب

ويليام شكسبير، ١٥٩٨

تتحرك الأرض تحت أقدامنا وتصرف الطاقة التى تنقل التربة وأحيانا
تطيح بالمدن. وتبلغ بعض الزلازل من الضخامة ما يجعل طاقتها تعادل آلاف
القنابل الذرية تُفجّر دفعة واحدة. وقدرة الزلازل على تدمير المنشآت البشرية
وقتل أعداد هائلة من البشر وتغيير شكل الأرض تركت علامات لا تمحى فى كثير
من الحضارات. وطبع العجز عن التنبؤ بالزلازل فى النفس البشرية تقديرا

صعبا وخوفا بحيث ساعدا خلال الألفية الماضية على تشكيل فكرة عن حياتنا وموقفنا منها.

وتبدو الروايات القديمة عن الزلازل ناقصة غير مكتملة، وبدلا من عرضها أوصافا قاسية عن طبيعة الأرض راحت تؤكد تفسيراتها لها، وعلى مدى ٢٠٠٠ سنة استندت عدة تفسيرات للزلازل على فكرة أرسطو القائمة على اندفاع الرياح تحت سطح الأرض، وحتى ليوناردو دافنشى كتب **فى مذكراته** فى عام ١٥٠٠ يقول:

عندما تسقط الجبال منهارة فوق أماكن مجوفة فإنها تحبس الهواء فى هذه الكهوف الكبيرة؛ وهذا الهواء يسعى إلى أن يتصرف فيخترق الأرض، ويحدث زلزالا.

زلزال لشبونة فى ١٧٥٥

وحتى إلى عهد قريب لم تكن تطبق الطريقة العلمية فى وصف الزلازل. وكانت البرتغال فى القرن الثامن عشر وخاصة عاصمتها لشبونة، غنية بالثروة التى جمعها الرحالة من العالم الجديد. ولكن أقول نجم البرتغال بدأ بمجموعة من الزلازل. وفى صباح يوم ١ نوفمبر عام ١٧٥٥ - فى يوم القديسين جميعا - انهارت لشبونة تحت وطأة عدة زلازل قريبة، مصدرها قبالة شاطئ المحيط الأطلنطى وإلى الجنوب الغربى. وفى هذا اليوم الدينى المشهود كانت الكنائس غاصة بالمصلين. وفى حوالى الساعة ٩, ٤٠ صباحا بدأ يدوى رعد تحت الأرض أعقبته هزة أرضية عنيفة. واستمرت الحركة الأرضية العنيفة لمدة دقيقتين أو ثلاث؛ فأدت إلى إحداث خسائر فى المنازل والكنائس والمنشآت العامة فى هذه المدينة البالغ تعدادها ٢٥٠.٠٠٠ نسمة. وكانت معظم كنائس لشبونة مبنية بمواد بناء ضعيفة، فانهارت فى الشوارع الضيقة وقتلت آلاف من الناس المحاصرين والفارين. وسقط السجاد على الشموع والمصابيح - وكل ما كان موقدا فى ذلك اليوم المقدس - فشبت الحرائق بلا مقاومة لمدة ستة أيام. وبعد ساعة من الشلل الذى أصاب لشبونه، ضربها زلزال ثان أعنف من سابقه ولكنه أقصر عمرا. وفى هذه

الحالة من الذعر توجه كثير من الناس المرعوبين فرارا من الزلزال الأول نحو الشاطئ طلبا للأمان، ولكن أمواجاً بحرية عاتية سببها الزلزال اجتاحتهم بلغ ارتفاعها ١٠ أمتار (أكثر من ٣٠ قدما). وهذه الحوائط المائية المتدفقة على اليابسة حملت معها الزوارق وسفن الشحن وألقت بها على اليابسة على بعد نصف كيلو متر من الشاطئ. وعندما انحسر ماء البحر سحب معه حطام المنشآت المدمرة بفعل الزلزال والفرقي إلى المحيط. وعند الظهرية ضربت لشبونة هزة أرضية أخرى من آثار زلزال كبير حدث على بعد ٥٥٠ كم (٣٤٠ ميلا) بالقرب من مدينة فز في المغرب. وأحدث الزلزال الثالث كثيرا من الخسائر والتدمير في شمالي أفريقيا مثلما أحدثت الزلازل السابقة في لشبونة. فدمرت فز وعدد أصغر منها من المدن وتهدمت كل من الجزائر وطنجة. وفي لشبونة قتل الزلزالان السابقان أكثر من ٧٠,٠٠٠ مواطن ودمرا وخربا بشدة حوالي ٩٠٪ من المنازل والكنائس. ولهذا أحدث الزلزال الثالث في لشبونة قليلا من التدمير ولكنه أربب الناجين كثيرا (الشكل ٣-١).

وامتدت آثار سلسلة زلازل لشبونة إلى أبعد من المدينة المدمرة. فتقول تقديرات عالم الزلازل الأمريكي هاري فيلدينج ريد في عام ١٩١٤ أن أكثر من ٣٪ بقليل من سطح الأرض اهتز بشكل محسوس. وتكبدت المنشآت الواقعة على مسافة ٦٠٠ كم (٣٧٥ ميلا) من مصدر الزلزال خسائر. ولم تضرب الأمواج البحرية العملاقة التي ولّدها الزلزال الساحل البرتغالي فحسب، بل سجلت ارتفاعات أقل في شمالي أفريقيا والجزر البريطانية وهولندا. وحتى في جزر الهند الغربية في المحيط الأطلنطي تراجع البحر ثم تقدم لمدة ساعتين ونصف بأمواج ترتفع إلى ٤ أمتار (١٣ قدما). وتدل التقديرات الحديثة على أن قوة الزلزال كانت حوالي ٨,٧.

وفي الوقت الذي حدث فيه الزلازل كانت لشبونة غنية بشكل مذهل بسبائك الذهب، وبالجواهر والتجارة، وكانت لها أهمية تجارية وثقافية كبيرة. وكانت المدينة كذلك مقرا لديوان التحقيق القضائي. وكان الدمار الذي لحق بهذه المدينة الشهيرة من جراء الزلازل وما صاحبها من أمواج بحرية وحرائق تمثل صدمة لا مثيل لها للحضارة الغربية. ولم تكن الخسائر في الأرواح والمباني فادحة فحسب، بل حولت الحرائق كذلك المكتبات التي لا تعوض والخرائط والمخططات لاكتشافات الرحالة البرتغاليين ولوحات كبار الرسامين من أمثال تيتيان وكوريجيو وروبينز إلى رماد.

ويبدو الأمر غامضاً لدى الكثيرين حين يحدث مثل هذا الدمار فى يوم مقدس حيث كانت الكنائس غاصة بالمصلين المؤمنين. ولكن الآخرين مثل راعى الكنيسة جون ويزلى يعتقدون أن هذه الزلازل ما هى إلا عقاب يكفر عن الخطايا. فقد قال فى موعظته:

لقد أتى! فالسقف يرتعد! والكمرات تنتشرخ! والأرض تهتز . رائحة قادمة! وصوت الرعد الأجش يدوى فى أحشاء الأرض! وكل هذه بدايات للمحن. والآن أين المغيث؟ وما الحكمة القادرة على منعه؟ وما المقاومة التى تقاوم الضربة؟ وأى مال يستطيع شراء ما نسميه إنقاذاً ولو مؤقتاً لمدة ساعة؟ أيها الشريف المسكين، أين ألقابك اليوم؟ أيها الثرى، أين الآن إلهك الذهبى؟ فإذا كان هناك ما ينفع، فهو الصلاة. ولكن لمن تكون الصلاة؟ لا لإله السماء: فأنت تفترض أنه ليس فى مقدوره شىء يفعل للزلازل؟

ولتهدة المذعورين فى لشبونة طلب المحافظ المؤقت سيباستيان دى كارفالو المكلف بإزالة الأنقاض وإعادة البناء المساعدة فى إنهاء التحذيرات المستمرة من القساوسة للمواطنين بأن المزيد من غضب الرب سوف يلحق بهم.

واعتبر الفيلسوف الألمانى إيمانويل كانت الزلازل ظاهرة طبيعية، وطلب من الناس التزام الحكمة وعدم البناء فى المناطق التى تحدث بها الزلازل. ونظر المفكر الفرنسى جان جاك روسو كذلك إلى الزلازل على أنها أحداث طبيعية، وأعلن أن المظاهر الصناعية للحضارة (مثل المباني الحجرية) هى التى تسبب الوفيات؛ أى أن الناس البسطاء الذين يعيشون فى العراء لن يتأثروا بالزلازل. وأنشد الشاعر الفرنسى فولتير قصيدة مؤثرة عن زلزال لشبونة، نقتبس منها ما يلى:

قل لى بحق أى ميزة تحققت لنا جميعاً،
من الدمار باعث الأسى على أطلال لشبونة.
وهل تؤكد حينذاك أن قوة الخلق التى
صاغت بهذا الكون قانون الحياة..

لم تستطع أن توجد الإنسان فى مكان آمن
بعيدا عن زلازل الأرض التى تدمر البشر؟
وهل يحد ذلك الأسى بهذا القدر تدبير القدر؟
أليس الأمر يستوحى من الرحمن رحمة بهم؟
فليت الله غير من قوانين الطبيعة!
بما للخالق العظيم من موارد ومن قوى!
وإننى لأرجو الله مخلصا له الرجاء
أن يدير دفة النيران والدخان من الخليج
إلى الصحارى القاحلة، لكى تخف وطأة النيران الغاضبة.
بكل الحب والعرفان يطلب الإنسان رحمة ربه
إذا حاقت به الضراء، والخراب أثقل كاهله
لا من قبيل الكبرياء؛ بل من صميم المعرفة
وليت هذه الأبيات تسترد الاطمئنان
إلى المواطنين الأشقياء، على شواطئ الكوارث!

فكارثة لشبونة كانت سلسلة من الزلازل التى لا تنسى بصفة خاصة نظرا
لعنفها، ولحجم الخسائر التى نجمت عنها وعدد الأرواح التى فقدت فيها والمنطقة
الواسعة التى شعرت بها. والأمواج البحرية المدمرة البعيدة المدى والمسافات الطويلة
التي تهيجت فيها المياه والزمان والمكان اللذان حدثت بهما. وقبل هذا الحدث كانت
أوروبا تعيش فى جوٍّ من الرخاء والطمأنينة فى العالم المتحضر. فزلازل لشبونة فعلت
أكثر من تخريب مدينة، إذ غيرت الأفكار السائدة فى المنطقة. فكل شىء فى العالم
أصبح غير مطمئن.

وعلى الرغم من الآثار العميقة التي أحدثتها هذه الزلازل فى الحضارة لعدة قرون، فالنظريات العلمية لم تبدأ حتى باكورة القرن التاسع عشر، عندما وضعت مواصفات جيدة لتأثير الزلازل على الأرض. واليوم، بعد مرور أقل من قرنين زادت معرفتنا بالزلازل زيادة هائلة. فلدينا مفهوم شامل عن الزلازل، ما هى ولماذا تحدث وأين تقع ومقدارها ومعدل تكرارها فى موقع معين. وبياناتنا العلمية ونظرياتنا تسمح لنا بفهم هذه الظواهر التى عجزت عن فهمها أو التلميح عنها أعظم العقول الماضية. تلك هى ثمار البناء الهرمى للمعلومات التى نسميها العلم.

ما الزلزال ؟

كلمة زلزال مصطلح يعبر عن ذاته بفاعلية - فزلزلة الأرض تعنى اهتزازها وشعورنا بالاهتزاز. وربما نتجت الزلازل عن نشاط بركانى أو ارتطام النيازك أو انزلاقات أرضية تحت الماء أو انفجار القنابل الذرية؛ وأكثر من ذلك شيوعا أنها تنتج عن حركات أرضية مفاجئة على طول الصدوع. والصدع شق أو شرخ فى الأرض يتحرك فيها الصخر على كلا جانبيه قبالة بعضهما (الشكل ٣-٢). وتتجمع الضغوط فى الصخور القريبة من السطح حتى يزيد الإجهاد عن طاقة احتمالها فتتكسر الصخور وينتقل الإجهاد على طول الصدع. أما موجات الصدمة التى تنبعث من الصخور المتكسرة وتتحرك فهى ما نشعر به كزلزال. والمشهد التصويرى المماثل هو ما نألفه عندما نقذف بحجر على سطح ماء راكد. فالصخر الذى يضرب الماء يحدث اضطرابا عنيفا وقصيرا يبعث بموجات الصدمة لتنتشر بعيدا عن موقع الصدمة. وبالمثل، يفرغ الكسر فى الصدع طاقته المركزة حيث يتحرك الصدع، إلى جانب أنه يبعث عدة موجات نمطية للصدمة تنتشر لمسافات بعيدة عن الاضطراب.

الصدوع ورسم الخرائط الجيولوجية

يُعتبر إدراك القرن التاسع عشر أن حركة الصدوع تسبب الزلازل تطورا أساسيا أحدث موجة جديدة وشاملة في الفكر. فوضع علماء الجيولوجيا هذه العلاقة في أذهانهم ونزلوا إلى الميدان يرسمون الخرائط للصدوع، التي تحدد بدورها أحزمة المخاطر من الزلازل.

ونظرا إلى أن الصدع يحرك طبقات الصخور المستمرة من قبل بعيدا عن بعضها البعض، فإن الرسم الدقيق للخرائط لمختلف الكتل الصخرية يمكن أن يحدد خطوطا واضحة تفصل الأجزاء المتفرعة في الكتل الصخرية المنعزلة. وهذه الخطوط الواضحة تعبر عن الصدوع السطحية.

وتبدأ المبادئ التي تساعدنا على فهم الصدوع بتوضيح بعض العلاقات التي أمكن التعرف عليها مسبقا بين الصخور والتي لا تزال مفيدة حتى الآن. وكثير منها صاغها العالم الفيزيائي الدنماركي نيلز ستينسن، الذي عمل في إيطاليا واشتهر باسمه اللاتيني ستينو. ففي عام ١٦٦٩ وضع عدة قوانين أساسية في تفسير التاريخ الجيولوجي. فقانون التسطح الأفقي الأصلي يشرح كيف تترسب الرواسب (الرمال والحصي والطين) أو تستقر في الماء في طبقات أفقية. وهذا القانون مهم نظرا إلى أن بعض طبقات الصخور الرسوبية القديمة وُجِدَتْ على زوايا تتراوح بين الأفقية والرأسية. ولكن منذ أن عرفنا أنها بدأت تترسب في طبقات أفقية فإن تاريخ تشوهها بعد زمن الترسيب يمكن تحديده بالتفكير في إعادة توجهاتها إلى المستوى الأفقي (الشكلان ٣-٣ و ٤-٣).

وقرر ستينو في قانون التطابق أن سلسلة من الطبقات الصخرية الرسوبية غير المشوهة تتراصف فوق بعضها بحيث تترسب الطبقات المتتالية فوق الطبقات السابقة ترسيبها أي الطبقات الأقدم. وعلى ذلك فإن كل طبقة صخرية رسوبية تعتبر أحدث من الطبقة التي تحتها ولكنها أقدم من الطبقة التي فوقها (الشكلان ٣-٣ و ٤-٣).

ويقرر قانون ستينو للاستمرار الأصلي أن الطبقات الرسوبية مستمرة ولا تنتهي إلا عند هيئة طبوغرافية عالية مثل التل أو الجرف حيث تَفَنَّى؛ نظرا لعدم توافر

الرواسب أو بالتحول التدريجي من نموذج رسوبي إلى آخر. وهذه العلاقة تمكننا من تقدير عدم التوافق في طبقة الصخور الرسوبية التي تنتهي فجأة. ولابد أن يكون هناك حدث جعلها تنتهي. فمثلا، يمكن لنهر أن يحاتها أو صدع يحركها. ويمضى علماء الجيولوجيا وقتا طويلا في تحديد أماكن وتشعبات طبقات الصخور التي كانت مستمرة مسبقا. وبهذه الطريقة يمكننا تحديد أطوال الصدوع وتقدير قوة الزلازل التي تحدثها.

ونستطيع بمقياس أكبر أن نوجد التفرعات للصدوع الكبيرة والنشطة منذ زمن بعيد. ويوضح الشكل ٣-٥ خطا واضحا يقطع الأرض في اتجاه الشمال الشرقي - الجنوب الغربي؛ وذلك هو صدع ألباين في الجزيرة الجنوبية في نيوزيلاند.

وظل الجانب الغربي (الأيسر) يتحرك ٤٨٠ كم (٣٠٠ ميل) نحو الشمال. وفي مقاطعة أوتاغو في القطاع الجنوبي من الجزيرة الجنوبية اكتشف الذهب في عام ١٨٦١ في حصي النهر (الشكل ٣-٦). وأدى هذا إلى اندفاع الناس نحو الذهب؛ فجلب المنقبين عن الذهب وخبراء المناجم من جميع أنحاء العالم. وتحركت الآن حمى الذهب التي جذبت كثيرا من الباحثين عن الثروة في كاليفورنيا في عام ١٨٤٩ إلى نيوزيلاند. ونبش المنقبون عن الذهب مجارى الأنهار حتى المنابع بحثا عن مصدر الذهب. ولكن الكثير من الثروة كان يقع على بعد ٤٨٠ كم إلى الشمال الشرقي في مقاطعة نيلسون، حيث تناثرت الكتل الصخرية الحاملة للذهب على طول صدع ألباين منذ أكثر من ٢٣ مليون سنة من حركات الصدع. ويوضح لنا هذا المثال، أن دراسة الصدوع تهيئ لنا أفكارا هائلة تمكننا من تحديد مواقع الثروة المعدنية.

نماذج من الصدوع

عندما تنزلق الألواح التكتونية متباعدة ومتصادمة، وعندما ترتفع الجبال وتهبط الأحواض. تتجاوب الصخور الهشة في القشرة الأرضية بالتمزق (بالانفصال أو بالتشرخ). وعندما تولد القوى الإقليمية إجهادا كبيرا متباينا في الصخور على كلا جانبي التمزق، تحدث الحركة ويصبح التمزق صدعا. وتتراوح الحركات المتراكمة في

الصخور على طول الصدع من المليمترات حتى مئات الكيلومترات. ويمكن أن تؤدي هذه الحركات إلى ميل وطي طبقات الصخور الرسوبية الأفقية في الأصل في تنويعات متعددة من الاتجاهات. ولكي يصف خبراء الجيولوجيا أوضاع طبقات الصخور المشوهة أو سطح الصدوع أو أية هيئة أخرى بأبعادها الثلاثة أجروا قياسات تعرف بالميل(*) والمضرب(**). فالميل يرى المنظر الرأسى ذى البعدين (قطاع مقطعى) على أنه زاوية الميل عن المستوى الأفقى لطبقة الصخور المنحدرة واتجاه الميل (الشكل ٣-٧). والمضرب يرى المنظر الأفقى ذى البعدين (الخريطة) على أنه زاوية اتجاه البوصلة للطبقة الصخرية حيث تخترق المستوى الأفقى.

ولتصنيف الصدوع يستخدم خبراء المناجم القدماء بعض الاصطلاحات؛ إذ تشكلت الكثير من عروق الخامات المعدنية فى مناطق الصدوع القديمة. ولهذا تتكون الكثير من المناجم من سراديب (ممرات) حفرت على طول الصدوع القديمة الخاملة. والخامات شائعة على طول الصدوع لأن الكتل الصخرية عندما تتحرك قبالة بعضها فى منطقة الصدع تتولد قوى احتكاكية هائلة تعمل على تحطيم وسحق الصخور فى منطقة الصدع. ويشكل الصخر المحطم فى منطقة الصدع ممرا ذا نفاذية يمكن الماء من التدفق خلاله. فإذا حمل الماء الجوفى تركيزات من المعادن المذابة، انتشرت على شكل عناصر أو معادن قيمة فى منطقة الصدع. ويسمى قدامى خبراء المناجم العاملين فى حفر مناطق الصدوع الأرضية التى يسيرون عليها بالجدار السفلى(***) والصخور الواقعة فوق رؤوسهم بالجدار العلوى (المعلق)(****) (الشكل ٣-٨). وهذه الاصطلاحات

- (*) ميل $dip = inclination$ هو الزاوية الواقعة بين اتجاه شدة المجال المغنطيسى للأرض فى مكان ما وبين مستوى الأفق فى ذلك المكان. ويطلق أيضا على ميل الطبقات. (معجم الجيولوجيا - المترجم)
- (**) مضرب strike اتجاه الخط المكون من تقاطع سطح طبقة مع المستوى الأفقى، والمضرب عمودى على الميل. (ما هى الجيولوجيا؟ - المترجم)
- (***) الجدار السفلى footwall كتلة الصخر تحت مستوى الصدع أو العرق أو الحمولة أو طبقة الخام. (معجم الجيولوجيا - المترجم)
- (****) الحائط المعلق hanging wall الصخور التى أعلى المستوى المائل للصدع. (ما هى الجيولوجيا؟ - المترجم)

تستخدم فى تعريف النموذجين الأساسيين للصدوع اللذين تسود فيهما الحركة الرأسية - صدوع الميل المنزلة.

صدوع الميل المنزلة

تحدث الصدوع ذات التشعب الكبرى فى اتجاه الميل أو الاتجاه العمودى بسبب قوى السحب أو الدفع. وتتميز الصدوع ذات القوى السائدة التوسعية بانفصال طبقات الصخور المتباعدة فى منطقة التباعد (الشكل ٣-٩). ويحدث الصدع العادى عندما يتحرك الجدار العلوى إلى أسفل نسبياً نحو الجدار السفلى. ولم يكن اختيار كلمة عادى لتسمية هذا النموذج من الصدوع مناسباً نظراً إلى أنه يحمل دلالة على الاعتياد كما لو كان نموذجاً نمطياً أو اعتيادياً لحركة الصدع؛ ولكن الواقع ليس كذلك. ف نماذج الصدوع التوسعية أو العادية هى الصدوع النمطية فى مراكز انتشار قيعان البحار، وفى مناطق القارات حيث تتباعد الألواح.

فإذا كانت القوة السائدة لإحداث حركة الصدع تضاغطية فإن طبقات الصخر تتضاغط أو تتكرر عند النظر إليها فى القطاع المقطعى (الشكل ٣-١٠). وبالقوة التضاغطية يتحرك الجدار العلوى إلى أعلى بالنسبة للجدار السفلى؛ ويسمى هذا النموذج من الصدوع صدعاً معكوساً. وتوجد عادة الحركات التضاغطية فى الصدوع المعكوسة فى مناطق تقارب الألواح حيث يحدث الانضواء أو التصادم المستمر.

ويمكن أن تكون لأصول الحركات التباعدية مقابل الحركات التضاغطية دلالات اقتصادية هائلة. راجع ثانية الشكلين (٣-٩ و ٣-١٠) وتخلل طبقات الصخور المميزة فى كل شكل على أنها خزانات للزيت. وتصور نفسك مالكا لأى من المنطقة المتباعدة أو المنطقة المتداخلة (المتضاغطة). ففى إحدى الحالات تعنى الفقر، بينما فى الحالة الأخرى تعنى الثراء العظيم.

صدوع المضرب المنزلقة

عندما تكون معظم الحركة على طول الصدع أفقية، يُسمى الصدع صدع مضرب منزلق. وترى هذه التفريعات من الصدوع على الخريطة كما لو كنا ننظر إلى سطح الأرض من على بالون أو طائرة. وتصنف صدوع المضرب المنزلقة كذلك على أساس اتجاهات الحركة بالنسبة لكتل الصدع (الشكل ٣-١١). فإذا امتطيت صدعا وتحركت الكتلة التي على يمينك نسبيا، سمي الصدع صدعا يمينيا جانبيا. لاحظ أن هذا المبدأ الجارى لتسمية الصدع يسرى بغض النظر عن الطريقة التي تمتطى بها الصدع، وعليك أن تجربها من كلا الاتجاهين كما هو واضح فى الشكل (٣-١١). وبالمثل إذا تحركت الهياكل الواقعة على الجانب الأيسر للصدع فى اتجاهك سمي الصدع صدعا يساريا جانبيا.

رأينا صدع مضرب منزلق كبير فى نيوزيلاند هو صدع ألباين، ولكن أشهر صدع فى العالم هو صدع سان أندرياس فى كاليفورنيا. وهذا الصدع اليميني الجانبى يزيد طوله عن ١٢٠٠ كم (٨٠٠ ميل). وفى يوم ١٨ أبريل ١٩٠٦ تمزق جزء من صدع سان أندرياس بطول ٤٣٠ كم (٢٦٥ ميلا) وتحرك أفقيا لمسافة ٦,٥ أمتار (٢٠ قدما) فى ٦٠ ثانية. وكان الانطلاق الكبير للطاقة المتولدة عن حركة الصدع فى الواقع انطلاقا للطاقة المرنة التى تجمعت واختزنت فى الصخور منذ عدة عقود.

وليست الصدوع سطوحا بسيطة مستوية تنزلق بسهولة عندما تقع تحت الإجهاد. ولكنها بدلا من ذلك مناطق معقدة من الكسور تواجه الصخور الخشنة المتداخلة بعضها بسطح غير منتظم يمتد عدة كيلومترات تحت سطح الأرض. ويتجمع الإجهاد على مدى عدة سنوات قبل أن تختزن الطاقة الكافية لإحداث شق فى الصدع. ويحدث الكسر فى نقطة ضعيفة فى الصدع ثم ينتشر بسرعة على طول سطح الصدع. ويتصرف كثير من الطاقة المختزنة فى الصخور على شكل موجات زلزالية منبعثة يسميها الناس زلازل. والنقطة التى يحدث فيها أول تمزق تدعى البؤرة. والنقطة من سطح الأرض التى تقع مباشرة فوق البؤرة تدعى نقطة فوق السطح (المركز السطحي) (الشكل ٣-١٢).

وشق الصدع ليس حركة بسيطة أحادية الوقت تُحدث الزلزال. والحقيقة أننا لم نشعر بزلزال واحد. فالإجهادات التي تتجمع في الصخور في إحدى المناطق تنطلق في سلسلة من الحركات على طول الصدع أو الصدوع المتعددة وتستمر لبضعة أسابيع أو شهور أو سنين. وتولد كل حركة صدعية زلزالا؛ يسمى أكبرها بالزلزال، وتعرف الزلازل الصغرى السابقة له بالصددمات الإنذارية بينما تعرف الصدمات الأصغر التالية لها بالصددمات التابعة. والواقع أنه لا فرق بين هذه الزلازل سوى في الحجم؛ فكلها جزء من نفس السلسلة من الإجهادات التي تتصرف في الصدع. وعندما يحدث زلزال كبير ربما يعلن عن احتمال حدوث زلزال أكبر في الأيام الثلاثة التالية بنسبة ٦٪. وهذه الحقيقة الإحصائية مقدرة على أساس غير معروف عن كيفية تمييز الصدمة الإنذارية عن الزلزال الرئيسى. وعلينا أن ننتظر حتى تنتهى سلسلة الزلازل وتسمى جميع الهزات السابقة على الهزة الكبرى بالصددمات الإنذارية وكل ما أعقبها بالصددمات التابعة.

الدرجات فى صدوع المضرب المنزلقة

لا تشق صدوع المضرب المنزلقة سطح الأرض ببساطة على طول خط مستقيم تماما. فيمزق كسر الصدع الصخور على طول مساره فى عدة كسور شبه متوازية تتوقف وتستمر وتنحني يسارا ثم تنحني يمينا. وللتشبيه تصور كعكة مستطيلة. ضع يدك اليمنى على أعلى الركن الأعلى الأيمن، ويدك اليسرى على أسفل الركن الأيسر. ثم اجذب إليك يدك اليمنى وادفع بعيدا عنك يدك اليسرى. فهل ترى الكعكة تشق على امتداد خط مستقيم؟ أم على امتداد عدة كسور تقف وتستمر وتنحني يسارا ثم تنحني يمينا؟ وهكذا الحال فى الأرض عندما تنشق فى حركة صدع نتج عنها زلزال.

فالتنبؤات على طول الصدع ذات دلالات عميقة بالنسبة لتشكيل تضاريس طبوغرافية وبدء وتوقف أحداث شق الصدع. وفى الشكل (٢-١١٣) مخطط لصدع يمينى جانبى بثنية (درجة) فيه تدرج أو انثناء لليسار. قف على أى جانب من الصدع وانظر إلى منطقة الانثناء. لاحظ أن قسم الصدع فى يسار الانثناء أقرب إليك؛

ولهذا فهو تدرج يسارى لصدع يمينى جانبى. لاحظ ماذا يحدث للانحناء فى الصدع عندما ينزلق الجانبان عبر بعضهما البعض - تضغط وتدافع وتصادم وكبح. وتوضح الصورة فى الشكل (٣-١٣ب) تدرجاً يسارياً فى صدع سوبر ستيشان هيلز اليمينى الجانبى غربى براولى كاليفورنيا الذى حدث فى يوم ١٦ نوفمبر ١٩٨٧. لاحظ كيف نتج عن التضغط فى المنحنى تل صغير. فما هو حجم هذا التل إذا استمرت هذه الحركة عند الدرجة اليسرى لعدة ملايين من السنين؟ وسنذكر أمثلة لهذا فى الفصل الرابع.

وبالمثل، يوضح الشكل (٣-١٤أ) تدرجاً يمينياً على طول صدع يمينى جانبى. تخيل ماذا يحدث عند المنحنى فى الصدع. ففي هذه الحالة ينفرج كلا الجانبين عن بعضهما البعض، ويمتدان وينفرجان وينفكان. والصورة فى الشكل (٣-١٤ب) لنفس الزلزال على طول مختلف لنفس الصدع كما فى الشكل (٣-١٣ب). وعند هذه الدرجة اليمينى ينفرج الجانبان ويسفران عن شرخ واسع وحوض صغير ومنطقة هبوط.

صدوع تحويلية

والصدوع التحويلية نموذج خاص من الصدوع الأفقية الحركة أول من عرفها العالم الجيولوجى الكندى جى توزو ويلسون فى عام ١٩٦٥. والشكل (٣-١٥) يوضح المكونات الرئيسية للألواح التكتونية. وتتشكل القشرة المحيطية فى قاع البحر عند سلسلة الأعراف البركانية فى المحيط وتتباعد عن بعضها بقوة الجاذبية. وعندما تتصادم الألواح ينضوى اللوح الأعلى كثافة. ولكن ماذا يحدث على طول جوانب الألواح؟ ينزلق كل منها قبالة الآخر فى صدوع تحويلية. تصور هذه العملية بأبعادها الثلاثة. فالألواح المنتشرة ألواح صلبة من صخور المحيط، سمكها عشرات الكيلومترات تغلف الأرض شبه الكروية. فكيف يتحرك لوح صلد حول سطح مقوس؟ لابد أن تتكسر الألواح وهذه الكسور هى الصدوع التحويلية. والواقع أن الصدوع التحويلية لابد أن تربط مراكز الانتشار بمناطق الانضواء.

وفى الشكل (٣-١٥) لاحظ أن الحركة النسبية للوحين فى المنطقة الواقعة بين مركزى انتشار تكون فى اتجاهين متعاكسين فى شكل نموذجى لصدع مضرب منزلق. وعلى أية حال، فبالمرور فى كلا الاتجاهين إلى اليمين وإلى اليسار من مراكز الانتشار نلاحظ أن اللوحين يتحركان فى نفس الاتجاه؛ ولهذا تسمى هذه المنطقة بمنطقة التشقق. فالصدوع التحويلية فريدة فى نوعها لأنها توجد فقط بمراكز الانتشار. فهل يمكن تصنيف نفس الصدع على أنه صدع مضرب منزلق وصدع تحويلى؟ نعم.

تطور علم الزلازل

تعرف دراسة الزلازل بأنها علم دراسة الهزات الأرضية(*) . وأول وسيلة تكشف عن الزلازل قديما اخترعها تشانج هينج فى الصين فى عام ١٣٢ ميلادية. وبدأ العصر الحديث فى إبداع آلات تكشف عن الزلازل فى حوالى عام ١٨٨٠. واستمر التطور فى الآلات بمختلف الأساليب، ولكن الحاجة الملحة كانت لتسجيل الموجات الزلزالية بأبعادها الثلاثة. وتحقق ذلك بأجهزة اكتشاف الحركات الأرضية (مقياس الزلزلة - السيزمومتر)(**) وتسجيلها بمسجل الزلازل (السيزموجراف)(***) على شكل حركات أفقية شمالية - جنوبية وأفقية شرقية - غربية وحركات عمودية. وتسجيل مرور الموجات الزلزالية بدقة يحتاج مقياس الزلزلة إلى بقاء جزء ثابت بقدر الإمكان بينما الأرض بأكملها تهتز تحته. ولتحقيق ذلك يلزم بناء إطار تعلق فيه كتلة ثقيلة (الشكل ٣-١٦). ويستقر الإطار ذو الدعامة على الأرض ويتحرك عندما تتحرك الأرض، ولكن الكتلة المعلقة فى حبل تتغلب على قصورها الذاتى قبل أن تتحرك. والفرق فى حركات الإطار

(*) سيزمولوجيا - علم الزلازل seismology - العلم الذى يختص بدراسة الزلازل وكل ما يتعلق بها مثل قوتها ومداه وخطوط اتجاهاتها وتوقيتها وغير ذلك من الخصائص. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

(**) سيزمومتر - مقياس الزلزلة seismometer - جهاز كاشف يستقبل ويسجل قوة النبضات الزلزالية، ويستخدم فى العادة للكشف عن الزلازل الطبيعى. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

(***) سيزموجراف (مسجل الزلازل) - جهاز يسجل الموجات الزلزالية. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

والكتلة المعلقة يسجل على الورق بالقلم والحبر أو على شكل بيانات رقمية. تصوّر العملية تحدث كالاتى: أمسك بقلم حبر معتدل فى يدك ثم هز الأرض بأكملها تحت القلم لتصنع خطا بالحبر.

ومن المعلومات المهمة الأخرى أن يشمل التسجيل وقت وصول الموجات الزلزالية المختلفة وزمن استمرارها. ويتحقق هذا بجعل الوقت كامنا فى السجل الزلزالي؛ إما على شكل علامات مشرطة على الرسم البياني أو فى البيانات الرقمية. ويوجد القياس الزمنى فى الولايات المتحدة بالساعة الوطنية فى بولدر بولاية كولورادو.

وهيأ التحليل الأولى للسجلات الزلزالية لعلماء الجيولوجيا أن يحددوا أنواعا مختلفة من الموجات الزلزالية المتولدة عن حركة الصدوع، وأن يقدروا قوة الطاقة المنصرفة، وأن يحددوا المركز السطحي والبقرة (نقطة تلامس الصخرة للماء على سبيل المجاز).

الموجات الزلزالية: الموجات الداخلية

عندما تهتز الأرض تتصرف الطاقة فى الموجات الزلزالية التى تمر خلال باطن الأرض (موجات داخلية/ باطنية) وفى الموجات الأخرى التى تتحرك بالقرب من السطح فقط (موجات سطحية). والموجات الداخلية هى الأسرع وتسمى إما موجات أولية أو موجات ثانوية.

الموجات الأولية

الموجات الأولية (الابتدائية) هى الأسرع؛ ولهذا فهى أول ما يصل إلى محطة الرصد. وتتحرك بطريقة تضاغطية لنبضات متعاقبة من التضاغط (الدفع) والتمدد (السحب)؛ وهذه الحركة هى ما يمكن تصورها باستخدام لعبة اليويو (الشكل ٣-١١٧). وتتطلق الموجات الأولية من مصدرها إلى الخارج على شكل كروى دائم التكبير

مثل البالون السريع التضخم. وهى تمر عبر جميع المواد الصلبة والسائلة والغازية. وتعتمد سرعتها على كثافة المواد التى تمر خلالها وقابليتها للانضغاط. فكلما زادت الكثافة والقدرة على مقاومة الضغط، زادت سرعة مرور الموجات خلال الشبكات الذرية المعبأة. والسرعات المثالية للموجات الأولية فى الصخور الكثيفة (مثل الجرانيت) تبلغ حوالى ٥,٥ كم/ثانية (حوالى ١٢٣٠٠ ميل/ساعة). وتتباطأ سرعة الموجات الأولية فى الماء إلى ١,٥ كم/ثانية (حوالى ٣٣٥٠ ميل/ساعة). ونظرا لتشابه الموجات الأولية والموجات الصوتية، فيمكنها المرور فى الهواء. ويمكن أن تخرج من الأرض؛ وإذا كنت قريبا من المركز السطحى أمكنك أن تسمع هذه الموجات الأولية تطن بحوالى ١٥ دورة فى الثانية كأنها ضوضاء رعدية منخفضة. ويشبه وصول الموجات الأولية إلى منزلك أو مكتبك طنيننا صوتيا مصحوبا بقعقة النوافذ.

الموجات الثانوية

والموجة الثانوية ثانية الموجات التى تصل إلى محطة الرصد. والموجات الثانوية موجات مستعرضة تنتشر بالقص أو بالجزئيات المهتزة فى مسارها فى زوايا قائمة على اتجاه التقدم. وهذه الحركة ربما كانت أقرب إلى الفهم عند تصور كيفية حركة حبل القفز عندما تهز أحد طرفيه إلى أعلى وإلى أسفل (الشكل ٣-١٧ ب). وتمر الموجات الثانوية فى الأجسام الصلبة فقط. فإذا وصلت إلى جسم سائل أو غازى ارتدت طاقتها منعكسة إلى الصخر أو تحولت إلى شكل آخر. وسرعة الموجة الثانوية تعتمد على كثافة المواد ومقاومتها للقص. فالسوائل والغازات ليست لها قوة قص ولهذا فلا تستطيع نقل الموجات الأولية. والسرعات المثالية للموجات الثانوية فى الصخور الكثيفة (مثل الجرانيت) تبلغ حوالى ٤-٤,٥ كم/ثانية (حوالى ٦٧٠٠ ميل/ساعة). فإذا مرت فى السائل (مثل الماء) توقفت موجات القص. وتهز الموجات الأولية سطح الأرض بحركاتها لأعلى ولأسفل ومن جانب إلى آخر؛ ويمكن أن تحدث خسائر جسيمة فى المباني.

الموجات الزلزالية وباطن الأرض

تولد الزلازل الكبرى موجات داخلية تبلغ من الفاعلية ما يجعل مسجلات الزلازل فى جميع أنحاء العالم تسجلها. وهذه الموجات الأولية والموجات الثانوية لا تتبع ممرات بسيطة عند مرورها فى باطن الأرض؛ فهي تتسارع وتتباطأ وتغير اتجاهاتها حتى تختفى الموجات الثانوية. وبتحليل مسارات مرور الموجات الزلزالية يمكننا الحصول على نماذج لباطن الأرض (الشكل ٣-١٨). فالأرض ليست متجانسة. وابتداءً من مسارات الموجات الأولية والموجات الثانوية من سطح الأرض إلى باطنها نلاحظ زيادة مبدئية فى السرعة ثم نلاحظ تباطؤاً بين حوالى ١٠٠-٣٥٠ كم من الأعماق؛ وهذا هو الذى يحدد نطاق (غلاف) الانسياب (*). وباستمرار المرور إلى أسفل خلال الوشاح تختلف السرعات ولكنها تزيد بصفة عامة حتى عمق حوالى ٢٩٠٠ كم؛ وهنا تتباطأ الموجات الأولية بشكل ملحوظ بينما تختفى الموجات الثانوية. فتلك هى منطقة حدود لب الوشاح. ويشير توقف الموجات الثانوية إلى أن اللب الخارجى سائل فى معظمه. ويتحرك الموجات الأولية إلى اللب تزداد سرعتها تدريجياً حتى تحدث قفزة عند عمق حوالى ١٥٠٠ كم بما يوحى بأن اللب الداخلى صلب.

الموجات الزلزالية: الموجات السطحية

هناك نموذجان رئيسيان للموجات الزلزالية التى تمر بالقرب من سطح الأرض هما - موجات لاف وموجات رايلي.

(*) نطاق الانسياب asthenospher أو الاستينوسفير: وهو النطاق العلوى فى الوشاح الأرضى حيث تسمح الحركات التشكيلية بالانضباط الأيزوستاتيكى. (ما هى الجيولوجيا؟ - المترجم)

(*) غلاف الانسياب: الجزء الذى يلى القشرة الأرضية (وقد يعتبر جزءاً من المحيط اليابس) وهو النطاق العميق من القشرة الأرضية وتوجد فيه الصخور فى حالة تسمح بالتأثر السريع بحركات الطى والتشوه. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

وتتولد الموجات السطحية عن الموجات الداخلية التي يضطرب بها السطح. ويمكنك ملاحظة هذين النموذجين بالمقابل. فإذا قذفت حجرا في الماء لاحظت حلقات من الأمواج الدائرية تتدفق إلى الخارج منطلقاً من نقطة ارتطام الحجر بالماء (المركز السطحي). ويرمز إلى كلا النموذجين من الأمواج لاف ورايلي بحرف L أى بأنها موجات طولية، لأنها تستغرق وقتاً طويلاً في استكمال دورة واحدة من الحركة وأنها الأبطأ في الحركة.

موجات لاف

يمكن تمييز موجات لاف على أجهزة تسجيل الزلازل، وأول من شرحها هو العالم الرياضى البريطانى آى إتش لاف. فحركتها تشبه حركة الموجات الثانوية فيما عدا أنها تصدر من جانب إلى آخر فى مستوى أفقى مواز تقريبا لسطح الأرض. أما الموجات الثانوية فإن حركة القص بها تأتى فى زوايا قائمة فى اتجاه التقدم؛ أى أنها تبدو كحبل القفز فى الشكل (٣-١٧ب) مفرودا على الأرض. وتتم موجات لاف عادة أسرع من موجات رايلي. وهى مثل الموجات الثانوية لا تمر خلال الماء أو الهواء.

موجات رايلي

أول من تنبأ بموجات رايلي هو اللورد رايلي قبل ظهورها بالفعل على أجهزة تسجيل الزلازل بعشرين سنة. وهى تقترب فى دورانات للخلف بحركة إهليجية (بيضوية) (الشكل ٣-١٧ج)، تشبه المسارات المدارية لجزيئات الماء فى موجات الماء التى تدفعها الرياح، فيما عدا أن الموجات فى الماء ذات دوران أمامى (الشكل ٣-١٧د). ويؤدى الاهتزاز الذى تحدثه موجات رايلي إلى حركات رأسية وأفقية. وكلما كانت البؤرة ضحلة زادت طاقة الأمواج الأولية والثانوية التى تضرب السطح مولدة طاقة أكثر فى موجات رايلي. وتتم الموجات المتسللة خلال كل من اليابسة والماء. والتقارير الشائع عن أن الزلزال يشعر به المرء وكأنه يتأرجح فى زورق على سطح البحر

يصف وصفا دقيقا مرور موجات رايلي. وهذه الموجات ذات مدى طويل؛ فإذا بدأت سارت لمسافات بعيدة.

الموجات السنامية (التسونامي)

وأضخم الموجات وأعتاها هي التي تمر عبر البحر دون أن يشعر بها أحد في معظم الأوقات ثم ترتفع عالية وتضرب الشاطئ بضربات مدمرة. واليابان هي الدولة ذات التاريخ الحافل بأكثر الأضرار من هذه الأمواج الفتاكة، ويعرفها اليابانيون بكلمة التسونامي *tsunami* (وتعني *tsu* الميناء و *nami* الموجة). وبما أنها كلمة يابانية الأصل فليس لها مفرد أو جمع. والإشارة إلى موجات الميناء تؤكد شدة الارتفاع الذي تصل إليه الأمواج في الخلجان ومداخل الموانئ بسبب تركيز قوة الأمواج على المساحة الضيقة للخليج أو الميناء. فمثلا ربما تندفع الموجة المارة في عرض البحر بارتفاع ٨ أمتار (أكثر من ٢٥ قدما) حتى يبلغ ارتفاعها ٣٠ مترا (١٠٠ قدما) عندما تحتشد في ميناء ضيق.

ومن الأمثلة الفتاكة منها ما ضرب اليابان في يوم ١٥ يونية ١٨٩٦ ذات يوم من أيام الصيف حين خرج الصيادون إلى عرض البحر وازدحمت الشواطئ بالمصطافين وضرب أحد الزلازل قاع البحر قبالة الشاطئ، وبعد ٢٠ دقيقة انسحب ماء البحر ليعود بعد ٤٥ دقيقة مصحوبا بصوت يشبه صوت العاصفة الرعدية الممطرة. وضربت الموجات السنامية الشواطئ بعنف وبلغ أقصى ارتفاع لها ٢٩ مترا (٩٥ قدما) حيث احتشدت في الخلجان والممرات الضيقة. فدمرت أكثر من ١٠٠٠٠ منزل وقتلت ما يزيد عن ٢٧٠٠٠ نسمة. ولم يشعر الصيادون في عرض البحر لا بالزلازل ولا بالموجة السنامية؛ ولكنهم علموا بها عندما عادوا إلى الخليج فشاهدوا حطام منازلهم متناثرا فوق الماء وجثث عائلاتهم طافية.

وفي الولايات المتحدة تسمى الموجات السنامية عادة «الموجات المدية» وهي تسمية لا تطابق الواقع حيث لا تعنى الموجة السنامية شيئا بالنسبة لحركة المد.

ولا تعنى الموجة السنامية شيئاً لذلك بالنسبة للرياح ولا للعواصف؛ لأنها تتولد من رشات صنعتها حركات الصدوع فى أعماق المحيطات، أو ثورات بركانية أو انهيار الكالديرات أو الانزلاقات الأرضية أو ارتطام النيازك وما شابه ذلك. ويمكنك تقريب فكرة التسونامى بإلقاء حجر فى بركة ماء راكد، حيث تنبعث سلسلة من الأمواج المركزة من نقطة الارتطام إلى الخارج. تخيل حجم الأمواج المنبعثة عندما يسقط فى الماء صخر ضخمة - مثلما حدث فى انهيار الكالديرا فى براكين كراكاتاو فى عام ١٨٨٣ أو سانتورينى فى حوالى ١٦٢٠ ق.م. (انظر الفصل السابع).

وكثيراً ما تحدث الموجات السنامية أثناء الزلازل، وخاصة فى حركات الصدوع فى قاع البحر ذات التشعبات التى تعترض كتلة مياه المحيطات العميقة. وهى الحركات الصدعية الرأسية فى مناطق الانضواء التى تشيع فيها الموجات السنامية وخاصة فى المحيط الهادى (الجدول ١-٣).

وحدثت أعتى موجة عرفت فى التاريخ فى يوم ٩ يوليو ١٩٥٨ حينما سقطت كتلة صخرية ضخمة فى خليج ليتويا فى آلاسكا. ومن الأنسب تسمية هذه الموجة سايش(*) حيث دفعت بحائط من الماء إلى الجانب المقابل للخليج، فجردت المنحدرات على الشاطئ المقابل من غاباته الواقعة على ارتفاع ٥٢٠ متراً (١٧٠٠ قدم) فوق مستوى سطح البحر. وربما كانت أقوى موجات حدثت على الإطلاق عندما سقط كويكب يبلغ قطره بضعة كيلومترات فى المحيط العميق.

الموجات السنامية مقابل الموجات التى تسببها الرياح

تتنوع موجات المحيط النمطية التى تسببها الرياح على مدار السنة. ورغم أن الفترات الزمنية للأمواج التى تسببها الرياح وأطوالها تختلف باختلاف العواصف والفصول، فإنها تختلف اختلافاً بيناً عن الموجات السنامية (الجدول ٢-٣).

(*) سايش seiche تارجع من جانب إلى جانب فى سطح إحدى البحيرات على فترات. (تشيمبرز - المترجم)

والفرق فى سرعات الأمواج التى تسببها الرياح عن الأمواج السنامية كبير أيضا. ففي الماء العميق تبلغ سرعة الموجات التى تسببها الرياح فى الجدول (٢-٣) حوالى ١٧ ميلا/ ساعة بالنسبة لموجة مدتها ٥ ثوان، وحوالى ٧٠ ميلا/ساعة بالنسبة لموجة مدتها ٢٠ ثانية. أما حساب سرعة الموجة السنامية فيتم كالآتى:

$$س = \text{الجذر التربيعى ج} \times \text{ع}$$

حيث س هى سرعة الموجة و ج هى التسارع بفعل الجاذبية (٨,٩ متر/ث^٢ أو ٣٢ قدم/ث^٢) وع هى عمق ماء المحيط. ومتوسط عمق المحيط الهادى ٥٥٠٠ متر (١٨٠٤٠ قدم). وبحساب الجذر التربيعى للجاذبية وضربه فى ع نحصل على سرعة الموجة السنامية وهى ٢٣٢ مترا/ث (٥١٨ ميلا/ساعة).

وتبلغ أطول الموجات السنامية حدا يجعلها دائما تجرى عبر قاع المحيط بغض النظر عن مدى عمق الماء. ولحوض المحيط تضاريس طبوغرافية على القاع تحد من سرعة معظم الموجات السنامية إلى ٤٢٠-٤٨٠ ميلا/ساعة. وعندما تصل إلى الشاطئ يعمل الاحتكاك المتزايد بالقاع والاضطراب الداخلى للماء على تباطؤ اندفاع الموجة السنامية ولكنها ربما لا تزال تتحرك بسرعات الطريق المفتوح.

وتصل الموجة السنامية على شكل سلسلة من عدة موجات تفصلها فواصل نمطية فى حدود ١٠-٦٠ دقيقة. ولا يمكن التكهّن بأكبر الموجات فى السلسلة؛ وفى الحالات التاريخية الثلاث التالية كانت أكبرها الأولى والثالثة والخامسة على التوالى. وعادة ما تكون الموجات السنامية أشد خطورة على الشواطئ المنبسطة أكثر من الشواطئ المنحدرة. ويبلغ ارتفاع الموجة فى أعالي المحيطات نمطيا مترا أو نحو ذلك بينما يزيد ارتفاعها إلى ٦-١٥ متراً (٢٠-٥٠ قدما) عندما تصل إلى المياه الضحلة، فيما عدا التضاريس الطبوغرافية الضيقة مثل الخلجان والموانئ حيث تتركز الطاقة لجعل الأمواج أكثر ارتفاعا. وهناك ميل إلى النظر إلى القوة التدميرية للموجة السنامية تبعاً للارتفاع الهائل للموجات، ولكن ارتفاع الموجة السنامية لا يماثل فى أهميته القوة الدافعة لكتلتها الهائلة التى تفصلها الأمواج الفائقة الطول. ولا تتماثل الموجات السنامية التى تصل إلى الشاطئ مع الموجات العملاقة التى تتكسر ونشاهدها كل يوم.

فالموجة السنامية النمطية تضرب الشاطئ مثل مد يرتفع سريعا جدا أو موجة الماء الأبيض، ولكنها لا تقف عند الشاطئ بل تستمر في الجريان على اليابسة.

دروس من الموجات السنامية

ربما تعلمنا الأمثلة بعضا من الدروس المستفادة المهمة عن الموجات السنامية.

ألاسكا في ١٧ مارس ١٩٤٦

مع بداية شهر أبريل عام ١٩٤٦ في جزر ألوشيان حدثت حركتان انضوائيتان كبيرتان هزتا المنطقة بعنف. وتعجل عمال فئار الثغر الإسكتلندي الخمسة الذين ظلوا ساهرين طويلا لما يمكن أن يخفيه لهم ظلام الليل الدامس. وكانت الفئارة مبنية بالخرسانة المسلحة المقواة بالصلب وتقع قاعدتها على ارتفاع ١٤ مترا (٤٦ قدما) فوق متوسط المستوى الأدنى لسطح الماء (الشكل ١٩-٣ أ). وبعد حوالي ٢٠ دقيقة من الزلزال الثاني، اكتسحت موجة سنامية يبلغ ارتفاعها ٣٠ مترا (١٠٠ قدم) الفئار (الشكل ١٩-٣ ب). وفي هذا الوقت كانت الموجة الأولى هي الأقوى.

وليست الموجات السنامية مجرد حوادث محلية. فالموجات تتسابق عبر المحيط الهادى بأكمله وبسرعات تقترب من سرعات طائرات الخطوط الجوية النفاثة. فإذا دخلت الموجة السنامية أرضا ضحلة عمل الاحتكاك بالقاع على إبطائها بشكل ملحوظ. فذات يوم من أيام شهر أبريل جرت الموجة السنامية بسرعة ٤٨٥ ميلا في الساعة في أعماق المحيط وتباطأت إلى نحو ٣٥ ميلا في الساعة عندما اقتربت من شاطئ هيلو في هاواي. ولا يتحمل البشر كتلة هذه الأمواج العاتية (الشكل ٢٠-٣)؛ فأسرع العدائين الأحياء تقل سرعته عن ٢٥ ميلا في الساعة. والأمواج ذات الأطوال الممتدة كذلك تسمح لقمتها بالاندفاع على اليابسة لمسافات بعيدة؛ وليس هناك حوض خلفها مباشرة يستوعب الماء ويستعيد رجوعه إلى المحيط ثانية (الشكل ٢١-٣ أ و ب). والموجة السنامية

التالية ربما أتت بعد ساعة. فالموجات السنّامية قتلت فى عام ١٩٤٦ فقط ١٥٩ نسمة فى هيلو فى هاواى.

وبوقوع هاواى فى منتصف حوض المحيط الهادى المعرض للزلازل تلقت موجات سنّامية متعددة. ويختلف ارتفاع الموجة السنّامية عند الشاطئ باختلاف التضاريس الطبوغرافية المحلية. وقد أعدت خريطة للمخاطر السنّامية التى تتعرض لها هاواى (الشكل ٣-٢٢).

شيلى فى ٢٢ مايو ١٩٦٠

وقع أقوى زلزال على الإطلاق تم قياسه فى يوم ٢٢ مايو ١٩٦٠ (انظر الفصل الثانى). فالموجة السنّامية المتولدة عن هذا الزلزال الناتج عن حركة الانضواء بقوة ٩,٥ بمقياس ريختر قتلت أناسا فى المحيط الهادى. وفى شيلى انطلقت الموجة الزلزالية الأساسية فى الساعة ٣,١١ مساء يوم الأحد. وقد أُلّف الناس فى شيلى للزلازل، بحيث يتوجه كثير من الناس إلى الأراضى المرتفعة تحسباً للموجات السنّامية. وبعد ١٥ دقيقة من الزلزال ارتفع البحر وكأنه مد يرتفع سريعاً حتى يصل إلى ٤,٥ متراً (١٥ قدماً) فوق سطح البحر. ثم تراجع البحر سريعاً وسمعت أصوات هسهسة وقرقرة ضوضائية وقد سحب معه المنازل المدمرة والزوارق إلى المحيط. ولجأ بعض الناس إلى اعتبار الموجة الهادئة علامة على أن هذه الأمواج السنّامية يمكن ركوبها بزوارقهم فى عرض البحر. وفى حوالى الساعة ٤,٢٠ مساءً، وصلت الموجة السنّامية الثانية بارتفاع ٨ أمتار (٢٦ قدماً) وبسرعة ١٢٥ ميلاً فى الساعة. فاكتسحت الموجة الزوارق ببركابها المذعورين، كما حطمت المباني الساحلية. ولكن الموجة الثالثة كانت أعنفها؛ إذ ارتفعت ١١ متراً (٣٥ قدماً) ولكن سرعتها بلغت نصف سرعة الموجة الثانية. ومات ١٠٠٠ نسمة من شيلى فى هذه الموجات السنّامية.

ومنذ عام ١٩٦٠ وسكان هاواى يتلقون إنذارات قبل وصول الموجات السنّامية. فمركز الإنذار السنّامى فى المحيط الهادى يقدّر الزلازل الكبيرة فى المحيط الهادى

ثم يستخدم خرائط مثل تلك الموضحة في الشكل (٣-٢٣) ليزود الناس بإنذار مبكر قبل عدة ساعات مستخدماً صفارات الإنذار. وتوقع الخبراء أن تصل الموجة السنامية التي حدثت في شيلي إلى هاواي في الساعة ٩, ٥٧ صباحاً؛ ولكنها وصلت في الساعة ٩, ٥٨ صباحاً. وغرق ٦١ نسمة منهم المتفرجون الذين انتظروا على الشاطئ لمشاهدة الموجة السنامية القادمة. وامتدت الموجة السنامية إلى اليابان كذلك فقتلت ١٨٥ نسمة آخرين. وبلغت كمية الطاقة الكامنة في هذه المجموعة من الموجات السنامية قدراً كبيراً بحيث سجلت في مقاييس المدنى المحيط الهادى لمدة أسبوع، إذ كانت نبضات الطاقة تنبض فجأة للأمام وللخلف عبر حوض المحيط بأسره.

ألاسكا في ٢٧ مارس ١٩٦٤

كان زلزال الجمعة الطيبة في ألاسكا بقوة ٩, ٢ بمقياس ريختر زلزلاً وحشياً، إذ اجتاحت موجاته السنامية شاطئ ألاسكا النادر السكان فقتلت ١٢٢ شخصاً. وارتفعت الكتل الأرضية الهائلة وانخفضت بسلسلة الزلازل الانضوائية (الشكل ٤-٣) فأرسلت موجات سنامية عارمة (الشكل ٣-٢٣). وأشار مقياس المد فى مدينة كريسانت فى كاليفورنيا إلى وصول أول موجتين سناميتين من قبل أن تفسح الطريق للموجة الثالثة (الشكل ٣-٢٤). وبالإنداز المبكر تم إخلاء منطقة الساحل فى مدينة كريسانت وانتظر السكان فوق المنحدر عندما أقبلت الموجة السنامية وأحدثت خسائر فادحة. وبعد مشاهدة الموجات السنامية الأربع لم يتحمل كثير من السكان الصبر على الاطمئنان على ممتلكاتهم؛ فذهب البعض ليتفقدوها - فكان ذلك خطأ فاحشاً - وفى هذه السلسلة من الموجات السنامية كانت الخامسة أشد وطأة؛ إذ كان ارتفاعها ٦, ٣ أمتار (٢١ قدماً)، فقتلت ١٢ شخصاً من الفضوليين. وحدثت جميع حالات الوفيات فى مدينة كريسانت من جراء الموجة السنامية الخامسة.

نيكاراجوا في ١ سبتمبر ١٩٩٢

في الساعة ٦, ١٦ من مساء يوم الثلاثاء حدث زلزال كبير غير عادي (قوته ٧,٦) ولكن كاد الناس ألا يشعروا به. فبعد حوالي ٤٥ دقيقة اجتاحت موجة سنامية ارتفاعها ١٠ أمتار (٣٣ قدما) قطاعا طوله ٣٠٠ كم (١٨٥ ميلا) من ساحل نيكاراجوا. فماذا حدث؟ ولماذا اهتزت الأرض قليلا جدا بينما هاج ماء المحيط في موجة سنامية هائلة؟ تحرك الصدع ببطء لدرجة أن الموجات الزلزالية العالية السرعة القصيرة المدة كانت ضعيفة نسبيا فلم تهز الأرض إلا قليلا، بمقدار ١/١٠٠ مما كان متوقعا. وعلى أية حال، أطلق الصدع البطيء الحركة قدرا كبيرا من الطاقة لمدة طويلة في الماء فأحدث موجات سنامية قوية.

كان الزلزال حدثا انضوائيا حيث تحرك لوح المحيط في قطاع طوله ١٠٠ كم (٦٢ ميلا) لمسافة متر واحد في دقيقتين. وكانت حركة الصدع البطيئة كافية بصفة خاصة لضخ طاقة في الماء. وامتص ماء البحر الطاقة فأرسل إلى الشاطئ أمواجا سنامية. وتورط سكان الشاطئ بدون إنذار فدمر ١٣٠٠٠ منزلاً وقتل ١٧٠ نسمة معظمهم من الأطفال الذين كانوا نائمين.

بابوا بغينيا الجديدة في ١٧ يوليو ١٩٩٨

في الساعة ٦, ٤٩ مساء يوم الجمعة ضرب الساحل الشمالي في بابوا بغينيا الجديدة زلزال بقوة ٧, ١ على بعد ٢٠ كم (أكثر من ١٢ ميلا) من الشاطئ. وعندما انتهت الهزة وصف شهود العيان منظر البحر وهو يرتفع فوق الأفق ويقذف رشاشا إلى ارتفاع ٣٠ مترا (١٠٠ قدم). وسمعوا أصواتا مثل أصوات الرعد البعيد ثم انحسر البحر ببطء. وبعد حوالي ٤ - ٥ دقائق سمعوا صوتا مدمدا وشاهدوا موجة سنامية ارتفاعها حوالي ٤ أمتار (١٣ قدما) تقترب. فإذا رأيت الموجة تقترب ضاعت فرصتك السانحة للهروب. فجرفت الموجة كل من كان على حافة الشاطئ وقذفتهم إلى بحيرة شاطئية ضحلة (الشكل ٢-٢٥).

وبعد بضع دقائق اقتربت موجة ثانية ولكن ارتفاعها كان ١١ مترا (٤٨ قدما). والموجة السنامية لا تتخذ شكل الموجة النمطية، بل تتخذ شكل فطيرة من الماء. وهذه الموجة كان متوسط ارتفاعها ١٠ أمتار (٣٣ قدما) وعرضها ٤-٥ كم (٢-٣ أميال). فتخيل هذه الفطيرة السميكة من الماء تنصب فوق شاطئ كثيف السكان بسرعة ١٥ ميلا في الساعة ولمدة تزيد على دقيقة. وكان هذا الحدث السنامي مكونا من سلسلة من ثلاث موجات جرفت آلاف من الناس بمنازلهم إلى بحيرة شاطئية ضحلة. وتم اكتساح هذا الشاطئ الذي يأوى أربع قرى. وقدرت الوفيات بحوالى ٢٢٠٠ نسمة معظمهم من العاجزين عن السباحة وأغلبهم من الأطفال.

والظاهر أن الموجة السنامية فى بابوا بغينيا الجديدة لم تكن وليدة الزلزال مباشرة؛ بل كانت نتيجة انزلاق أرضى تحت سطح البحر حفزته الهزة. وأحدث هذا الحدث ثورة فى الفكر العالمى حول تهديدات الموجات السنامية. فالموجات السنامية العارمة لم يعد يعتبرها الخبراء حدثا تسببه الزلازل العملاقة فى أماكن بعيدة. فالموجة السنامية يمكن أن تتولد عن صدوع محلية صغيرة تتسبب فى انزلاق الكتل الصخرية والرملية غير المستقرة تحت الماء. وبهذا التقدير الهام لتهديد الموجات السنامية نتبين أن: (١) جنوبى كاليفورنيا غير آمن بسلسلة الجزر قبالة شاطئه لأن حركة أحد الصدوع القريبة من الشاطئ يمكن أن تحفز انزلاقا أرضيا تحت الماء، (٢) ساحل الولايات المتحدة المطل على المحيط الأطلنطى معرض للموجات السنامية الناجمة عن انهيار وانزلاق الحافة القارية الخارجية، (٣) بحيرة تاهو عاشرة البحيرات الكبرى فى العالم تمر بها صدوع يمكن أن تتحرك وتسبب موجات سنامية ارتفاعها ١٠ أمتار (٣٣ قدما).

تحديد مصدر الزلازل

يمكن تحديد بؤرة الزلزال ومركزه السطحي (نقطة فوق السطح) باستخدام طول الفترة الزمنية التى تستغرقها مختلف الموجات الزلزالية حتى تصل إلى جهاز تسجيل الزلزال. وتمر الموجات الأولية أسرع من الموجات الثانوية بمقدار ١,٧ ؛

ولهذا فكلما بعدت عن مصدر الزلزال زاد الفرق فى زمن الوصول بين الموجات الأولية والموجات الثانوية (الشكل ٢-٢٦). وعندما يسجل شريط تسجيل الزلازل زلزالا، يتحدد الفارق فى أزمنة الوصول بين الموجات الأولية أ والموجات الثانوية ث بمقدار (ث - أ). وبفحص الرسم الزلزالى فى الشكل (٢-٢٧) يتضح أن الموجة الثانوية وصلت بعد الموجة الأولية بمقدار ٣ دقائق وهـ ٤ ثانية. ويوضح الشكل (٢-٢٦) الفارق الزمنى ث - أ وهو ٣ دقائق وهـ ٤ ثانية الذى يختص بزلزال يبعد ٢٢٥٠ كم (١٤٠٠ ميل). ولكن فى أى الاتجاهات؟

ويمكن تحديد المراكز السطحية باستخدام الرسم الزلزالى من ثلاث محطات رصد. فمثلا، يحدد الفارق الزمنى لوصول الموجتين ث - أ المركز السطحى على مسافة ١٦٤ كم (١٠٢ ميلا) من جامعة ولاية ممفيس فى تينيسى، و٢٣٦ كم (١٤٦ ميلا) من جامعة سان لويس فى ميسورى، و٦٦٤ كم (٤١٢ ميلا) فى جامعة ولاية أوهايو فى كولومباس. فإذا رصدت المسافة من كل محطة على شكل نصف دائرة، فسوف تتقاطع الدوائر الثلاث فى نقطة واحدة هى المركز السطحى فى نيو مدريد فى ميسورى (الشكل ٢-٢٨). وتستخدم الحواسيب الإلكترونية عادة فى حسابات تقدير مواقع المراكز السطحية؛ وعلى أية حال، يمكن طرح العملية فى صورة ذهنية أفضل عن طريق الدوائر المرسومة يدويا.

والفارق فى أزمنة الوصول بين الموجات الأولية أ والموجات الثانوية ث (ث - أ) يحدد فى الواقع المسافة بين محطة الرصد وبؤرة الزلزال، أى موقع حركة الصدع المبدئية (الشكل ٢-١٢). فإذا كانت بؤرة الزلزال واقعة على سطح الأرض، فإن المركز السطحى ينطبق على البؤرة. وعلى أية حال، إذا وقعت البؤرة فى العمق تحت السطح (س) فسوف تؤثر على زمن وصول الموجات السطحية، لأن الموجات السطحية س لا تبدأ حتى تضرب الموجات الأولية سطح الأرض. وتحدد البؤرة بوجود نظام متقارب من أجهزة رصد الزلازل، يسمح بالتحليل الدقيق لأزمنة وصول الموجات الأولية.

تقدير قوة الزلزال

تقيم قدرة الزلزال بالحجم النسبي للزلزال وتقاس عادة بآثار الموجة الزلزالية على الرسم الزلزالي. ويوضح الشكل (٣-٢٩) بعض الخواص القياسية للموجات الزلزالية. فالمدى هو الفترة الزمنية اللازمة لمرور دورة كاملة، والسعة هي ارتفاع آثار الموجة فوق نقطة البداية. وتقدر المدة بطريقة عكسية بتردد الموجات الزلزالية:

$$\text{المدى} = 1 / \text{التردد (هيرتز)}$$

وتحدث الموجات الزلزالية في نظام واسع من الترددات. وعلى أية حال، فالموجات الداخلية (أ و ث) تحدث بغزارة في الترددات العالية من ٠,٥ حتى ٢٠ هيرتز، أى من نصف دورة حتى ٢٠ دورة في الثانية وتدعى بالموجات القصيرة المدى. والموجات العالية التردد تنشط كثيرا في المسافات القصيرة القريبة من البؤرة/ المركز السطحي. والموجات السطحية تشيع عادة في الترددات المنخفضة، أقل من دورة في الثانية؛ وتوصف حركات هذه الأمواج الطويلة المدى نمطيا بالمدى الزمنى مقدما بالثانية. وتحمل الموجات ذات التردد المنخفض كميات كبيرة من الطاقة لمسافات بعيدة عن المركز السطحي.

مقياس ريختر

هناك عدة أنظمة لتقدير قوة الزلازل. وأشهر هذه الأنظمة مقياس ريختر. ففي عام ١٩٣٥ ابتكر العالم تشارلز ريختر من المعهد التقنى في كاليفورنيا مخططا كميا ليصف به قوة الزلازل في كاليفورنيا؛ أى الزلازل ذات البؤر الضحلة المحددة مواقعها بالقرب من مرصد الزلازل (أقل من ٣٠٠ ميل). ويستند مقياس ريختر على فكرة أن الزلزال كلما كبر كبرت معه الهزة الأرضية، وعلى هذا تزداد السعة (الأرجحة) في الخطوط التي يرسمها الرسم الزلزالي. ولمعايرة هذه العلاقة عرّف قدرة الزلزال بأنها:

لوغاريتم الأساس ١٠ لأعلى سعة للموجة الزلزالية (مقدرة بواحد من ألف من المليمتر) مسجلة على جهاز رسم الزلازل المعيارى على مسافة ١٠٠ كم من مركز الزلزال.

ونظرا إلى أن جميع أجهزة الرسم الزلزالى لن تكون على مسافة ١٠٠ كم من المركز السطحى؛ فقد أعيد النظر فى أمر المسافة، ووضع ريختر أرقاما بسيطة شاملة لتحديد المقادير؛ ففي كل عشرة أضعاف زيادة فى قوة الموجة الزلزالية المسجلة تزيد قوة ريختر رقما واحدا مثل ٤ تزيد إلى ٥. فالطاقة المنطلقة من الزلازل تزداد بأسرع من العشرة أضعاف الزيادة فى نطاق آثار الموجة الزلزالية، فمثلا، إذا زاد نطاق الموجات الزلزالية ١٠٠٠٠ مرة (١٠×١٠×١٠×١٠) تحركت قوة ريختر لتزيد من ٤ إلى ٨. وعلى أية حال، فإن الطاقة المنطلقة من ٤ إلى ٨ تزداد لتصبح ٢٨٠٠٠٠٠ مرة (الجدول ٣-٢).

فماذا تعنى هذه الزيادة فى المفهوم اليومى. إذا شعرت بزلزال قوته ٤ وأنت جالس إلى مائدة الغداء، ثم حدث زلزال قوته ٨ وأنت لا تزال جالسا إلى مائدة الغداء، فهل تهتز حقا ٢٨٠٠٠٠٠ هزة مماثلة فى القوة؟ لا. فالطاقة الأكبر للزلزال الذى بلغت قوته ٨ تنتشر على مساحة أوسع والزلزال الذى تبلغ قوته ٨ يشتمل طاقته على فترة زمنية أطول بحوالى ٢٠ ضعفا (مثل ٦٠ ثانية فى مقابل ٣ ثوان). والهزة الفعلية فى الزلازل التى تزيد قوتها عن ٦ لا تزيد كثيرا جدا (ربما زادت ثلاثة أضعاف)؛ ومن المؤكد أنها لا تزيد بمثل القيمة الواردة فى الجدول (٣-٢). والواقع أن الزلازل الأكبر يعنى أن أناسا أكثر فى منطقة أوسع ولمدة أطول يتعرضون لهزات مكثفة.

وسرعان ما دخلت الحاسبات الإلكترونية فى تقدير قوة الزلازل بمقياس ريختر، وهذا ما جعل لها شعبية واسعة النطاق بين أجهزة الإعلام الإلكترونية والمطبوعة. فبمجرد العلم بوقوع زلزال عادة بالتبليغ الهاتفى من أجهزة التبليغ، يمكن بسرعة قياس: (١) مدى اتساع الموجات الزلزالية، (٢) الفارق بين زمن وصول الموجة الأولية والموجة الثانوية. والشكل (٣-٣) يبسط معادلة ريختر فى شكل مخطط بيانى يسمح بسهولة تحديد قوة الزلزال. ولا يستغرق الأمر أكثر من دقيقتين لتحديد قوة الزلازل الذى طبع رسمه الزلزالى فوق المخطط البيانى.

وفى كل عام تضرب الأرض ملايين الهزات التى تسجلها مراصد الزلازل. ومعظمها صغير لا يشعر بها الناس (الجدول ٣-٤). لاحظ التوزيع الهرمى المميز للزلازل بالحجم - فكلما صغرت قوة الزلزال زاد عددها. ولكن أقل من ٢٠ زلزالا كبيرا (بقوة ٧ فأعلى) هى المسئولة كل سنة عن أكثر من ٩٠٪ من الطاقة المتحررة من الزلازل. وهذه الحقيقة تؤكد الطبيعة اللوغاريتمية لمقياس ريختر؛ فكل درجة لأعلى المقياس ذات أهمية كبرى.

مقاييس أخرى لحجم الزلازل

الزلزال حدث مركب، ويحتاج الأمر إلى أكثر من رقم لتحديد قوته. ورغم أن مقياس ريختر مفيد فى قياس الزلازل المتوسطة الحجم التى تحدث فى مناطق قريبة، فإن الموجات ذات المدى من ١, ٠ حتى ٢ ثانية التى يستخدمها لا تسفر عن نتائج طيبة فى المسافات البعيدة أو الزلازل الكبيرة حقا. فالموجات القصيرة المدى لا تشتد كثيرا كلما كبر الزلزال. فمثلا، قدر مقياس ريختر زلزال سان فرانسيسكو فى عام ١٩٠٦ وزلزال ألاسكا فى عام ١٩٦٤ على أنهما بقوة ٨, ٣. وباستخدام مقاييس أخرى رجّحت أن يكون زلزال سان فرانسيسكو بقوة ٨, ٧ بمقياس ريختر وزلزال ألاسكا بقوة ٩, ٢. وكان زلزال ألاسكا أكبر ١٠٠ مرة على الأقل.

ويقتصر الآن مقياس ريختر على قياس الزلازل المحلية فقط ذات القوة المتوسطة (يرمز لها بالرمز $M_L^{(*)}$). ونظرا إلى أن الزلازل تولّد كلا من الموجات الداخلية التى تمر خلال الأرض والموجات السطحية التى تتبع الطبقات العليا من الأرض، فإن مقياسين آخرين للقوة يستخدمان منذ زمن بعيد يرمز لهما بالرمزين $m_b^{(**)}$ و $M_S^{(***)}$. فمقياس الموجات الداخلية m_b يستخدم نطاقات من الموجات الأولية ذات المدى من ١ حتى

(*) M_L = moderate magnitude scale مقياس القوة المتوسطة للزلازل المحلية. (المترجم)

(**) m_b = body wave scale مقياس الموجات الداخلية. (المترجم)

(***) M_S = surface wave scale مقياس الموجات السطحية. (المترجم)

١٠. ثانية، بينما مقياس الموجات السطحية (M_s) يستخدم موجات رايلي ذات المدى من ١٨ حتى ٢٢ ثانية. وفي زمن مضى كانت جميع مقاييس القوة تعتبر متكافئة، ولكننا اليوم نعرف أن الزلازل تولّد نسبا مختلفة من الطاقة في فترات مختلفة. فمثلا الزلازل الكبرى الناجمة عن سطوح الصدع الكبيرة المتكسرة تبتث طاقة أكبر في موجات زلزالية طويلة المدى. ولهذا، فبالنسبة للزلازل الكبرى تقبل قوة الموجات الداخلية (m_b) كثيرا من قيمة الحجم الفعلي للزلازل. ولا يشترط أن تعطى شبكة مكونة من الطرق الثلاثة في تقدير قوة الزلازل (M_s و m_b و M_L) تقديرا حقيقيا لحجم الزلازل.

مقياس عزم قوة الزلازل

انتقل علماء الزلازل إلى مقاييس أخرى لتقدير حجم الزلازل بطريقة أدق؛ إذ يعتمد عزم الزلازل (M_0) (*) على مقدار الحركة على طول الصدع الذي ولد الزلازل؛ أي أن M_0 تعادل قوة القص في الصخر مضروبة في منطقة التمزق في الصدع مضروبة في معدل الإزاحة (الانزلاق) على الصدع. فالعزم مقياس يُعتمد عليه كثيرا في تقدير حجم الزلازل؛ فهو يقيس مقدار طاقة الانفصال (**) التي أفرغتها الحركة على امتداد كسر الصدع بالكامل. والعزم الزلزالي الذي استخدمه العالم هيرو كاناموري في مقياس جديد لقوة الزلازل، هو مقياس عزم قوة الزلازل (M_w) (***) حيث:

$$M_w = 2/3 \log_{10} (M_0) - 6$$

ويستخدم مقياس عزم قوة الزلازل في الزلازل الكبيرة. فهو أكثر دقة لأنه مرتبط مباشرة بالخط البياني للمعايرة الطبيعية مثل منطقة كسر الصدع وانزلاق الصدع

(*) seismic moment = M_0 عزم الزلازل. (المترجم)

(**) انفعال strain تحرف في طول الجسم أو في حجمه أو في شكله بتأثير إجهاد واقع عليه. ويقاس الانفعال الطولي بمقدار الاستطالة في وحدة الأطوال لهذا الجسم. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

(***) moment magnitude scale M_w مقياس عزم قوة الزلازل. (المترجم)

وتصريف الطاقة. وتستخدم مقاييس الزلازل الأخرى قياسات غير مباشرة مثل قياس عدد مرات تحرك إبرة جهاز الرسم الزلزالي.

وأكبر القياسات لعزم قوة الزلازل التي قيست حتى الآن هي زلزال ألاسكا في ١٩٦٤ (M_s of 8.3; M_w of 9.2) (الموجات السطحية لقوة ٨,٣؛ وعزم قوة الزلزال مقداره ٩,٢) وزلزال شيلي في ١٩٦٠ (M_s of 8.5; M_w of 9.5) (الموجات السطحية لقوة ٨,٥؛ وعزم قوة الزلزال مقداره ٩,٥). وفي الشكل (٣-٣١) تنويعات من أحداث فعالة موضوعة على مقياس للمقارنة.

تحرك التربة أثناء الزلازل

تنطلق الموجات الزلزالية للخارج من حركة الصدع. وتحرك التفاعلات بين مختلف الموجات الزلزالية الأرض رأسيا وأفقيا. وعادة ما تصمم المباني لتحمل القوى الكبيرة الرأسية الناجمة عن أوزان المباني ومحتوياتها. وهي مصممة بمعاملات كبيرة للأمان بحيث لا تعتبر القوى الرأسية الإضافية التي تحدثها الزلازل مشكلة نمطية. وعادة ما يوجه الاهتمام الأكبر في تصميم المباني لتحمل الزلازل الكبرى إلى الضغط الجانبي الناتج عن العناصر المسببة للحركة الأفقية (الشكل ٣-٣٢).

العجلة (التسارع)

يجب أن يراعى في تصميم المباني في المناطق المعرضة للزلازل العجلة (التسارع). وبما أن الموجات الزلزالية تحرك الأرض والمباني إلى أعلى وإلى أسفل وإلى الأمام وإلى الخلف فإن معدل تغير الحركة يقاس بالتسارع. وبالمقابل، عندما تتحرك سيارتك بسرعة ٢٥ ميلا في الساعة على طريق ممهد ناعم فإنك لا تشعر بقوة تقع على بدنك. ولكنك إذا ضغطت بقوة على بدال التسارع ووصلت سريعا إلى سرعة ٥٥ ميلا في الساعة، فإنك تشعر بقوة تدفعك إلى الخلف عند المقعد. وبنفس الفكرة، إذا ضغطت

بقوة على بدال الفرامل وتباطأت السيارة سريعا، فإنك تشعر بقوة تدفعك إلى الأمام. وهذا النمط ذاته من قوة التسارع يحدث للمباني عندما تتحرك الأرض من تحتها عند حدوث الزلزال.

وباستمرار المثال، إذا وضعت ذراعك باستقامة أمامك وحركته إلى الخلف وإلى الأمام. فإنك تشعر بسرعة التسارع وزيادة السرعة، دون أن تحدث خسائر لأن وزن ذراعك قليل وقوة القصور الذاتي محدودة. وعلى أية حال، إذا بلغ وزن أحد المباني آلاف الأطنان وتعرض لنفس هذا التسارع فسوف يحدث هذا التسارع قوى هائلة للقصور الذاتي لا يستطيع المبنى أن يتحملها. وإذا استمرت هذه القوى فترة طويلة فربما انهار المبنى.

والمقياس العادى للتسارع يتم بإسقاط جسم سقوطا حرا تحت تأثير الجاذبية؛ وهذا هو شأن جميع الأشياء بغض النظر عن وزنها. فالتسارع نتيجة الجاذبية هو ٣٢ قدماً فى الثانية المربعة، ويرمز إليه بالرمز g ويستخدم كوحدة قياس مقارنة. وتبدأ المباني الضعيفة فى تكبد الخسائر عند التسارع الأفقى $0.1g$. وفى التسارع بين $0.1g$ حتى $0.2g$ يشعر الناس بعدم القدرة على الوقوف باتزان مثل وقوفهم فى ممر قطار يتحرك سريعا أو فى زورق صغير فى بحر لجى. ومن المشكلات التى تواجه مصممي المباني أن يزيد تسارع الزلازل المحلية عن $1g$. وفى التلال التى تعلو منطقة ترزانا فى كاليفورنيا أحدث زلزال نورثريدج فى ١٩٩٤ ظاهرة تسارعية مقدارها $1.2g$ رأسيا و $1.8g$ أفقيا.

الفترة الزمنية للدورة والرنين

عند مناقشة الموجات الزلزالية تعرف الفترة الزمنية بأنها الزمن الذى تستغرقه الدورة الكاملة للمرور (الشكل ٣-٢٩). وتنطبق الفكرة بذاتها على المباني. فمثلا، إذا تصورنا سارية طويلة للعلم وضع فى أعلاها نسر معدنى؛ أولا، إذا هزرت هذه السارية، فستعلم سريعا أنها تميل بقوة إلى الحركة إلى الأمام وإلى الخلف بمعدل معين ولفترة معينة. وإذا تأرجحت السارية دورة كاملة فى ثانيتين فإن فترتها الزمنية

ثانيتين. ثانيا، إذا بدأت الموجات الزلزالية ذات الفترة الزمنية ثانيتين تهز الأرض، فإن مقدار حركة السارية سيأخذ في الزيادة. والسارية الآن ترن والقوى التي يجب أن تتحملها زادت. ثالثا، إذا اهتزت الأرض التي تقع عليها السارية كذلك بفترة زمنية قدرها ثانيتان، فإن الرنين يزداد أكثر، وربما أدى تزايد القوى المتولدة عن الرنين إلى تدميرها. وهذا المبدأ للفترات الزمنية المقتسمة التي تولد الرنين سبب شائع للانهييار الكارثي للمباني أثناء الزلازل.

وحركة الأرض المعرضة للزلازل تسبب تأرجح المباني لفترات زمنية معينة. والفترات الزمنية النمطية هي حوالى ١, ٠ ثانية للمباني ذات الدور الواحد، و ٠,٥ ثانية للمباني ذات ٥ أدوار، وما بين ١ حتى ٢ ثانية للمباني ذات ١٠ حتى ٢٠ دورا. وعموما، كلما ارتفع البناء طالت الفترة الزمنية. وقاعدة الرنين مفادها أن الفترات الزمنية للرنين فى المباني تزيد حوالى ١, ٠ ثانية لكل دور ارتفاع. والمباني الأكثر مرونة (المصنوعة من الخشب أو الصلب) ذات فترات زمنية أطول؛ بينما المباني الأكثر صلابة (المصنوعة من الطوب أو الخرسانة) ذات فترات زمنية أقصر. والفترات الزمنية الطبيعية للصخور الصلدة تبلغ حوالى ٥,٠ ثانية، بينما الرواسب اللينة ربما تتجاوز دقيقتين.

شدة الزلزال - ما الذى نشعر به أثناء الزلزال؟

نشعر أثناء عشرات الثوانى التى يستغرقها زلزال كبير بانتفاضنا إلى أعلى وإلى أسفل واهتزازنا من جانب إلى آخر. فهو شعور عاطفى؛ وتختلف مشاعرنا الشخصية باختلاف مواقعنا أثناء الاهتزاز وباختلاف نزواتنا الشخصية. ولكى تكون لرواياتنا الشخصية معنى لتوصيلها إلى الأجيال التالية يلزم ربطها برباط شائع يربط هذه الروايات بعضها ببعض. وفى أواخر العقد الأول من القرن التاسع عشر ظهرت مخططات وصفية مستندة على شدة الآثار التى تعرض لها الناس والمباني. والمقياس الذى استخدم على نطاق واسع وضعه العالم الإيطالى جوزيبى ميركالى فى عام ١٩٠٢؛ وعدله تشارلز ريختر فى عام ١٩٥٦. ويتكون المقياس من ١٢ قسما من الشدة المتزايدة المرقمة بأرقام لاتينية (الجدول ٢-٥).

وتستخدم مقاييس قوة الزلزال لتقدير الطاقة المنطلقة من الزلزال؛ بينما تقدر مقاييس شدة الزلزال الأضرار التي أحدثها للناس والمباني (الجدول ٣-٦). وتم تجميع تقديرات شدة ميركالي بسرعة وبفاعلية أكثر باستخدام الحاسبات الإلكترونية الشخصية. والآن يمكنك أن تضيف ملاحظتك على أى زلزال بملء استبانة على شبكة الإنترنت وعنوانها : [http:// pasadena. wr. usgs. gov / shake /](http://pasadena.wr.usgs.gov/shake/) .

متغيرات مقياس ميركالي

تعتمد شدة أى زلزال على عدة متغيرات: (١) قوة الزلزال؛ (٢) المسافة من البؤرة/ المركز السطحي؛ (٣) نوع الصخر أو الرواسب التي تشكل سطح الأرض؛ (٤) نظام البناء - التصميم، ونوع مواد البناء، والارتفاع؛ (٥) زمن استمرار الهزة. وهذه العناصر يلزم وضعها فى الاعتبار عند تقدير تهديد الزلزال لأى إقليم وحتى لأى مبنى بذاته.

قوة الزلزال

تبدو العلاقة واضحة بين قوة الزلزال وشدته - فكلما كبر حجم الزلزال (زادت الطاقة المتصرفة)، زادت الحويلة من الوفيات والدمار.

المسافة من البؤرة/ المركز السطحي

وتبدو العلاقة واضحة كذلك بين المسافة والخسائر؛ فكلما اقتربت بؤرة الزلزال/ مركزه السطحي زادت الخسائر. ولكن هذه القاعدة ليست مطلقة، كما يتضح ذلك فى الفصل الرابع من سلسلة الزلازل العالمية فى عام ١٩٨٩ (لومابريتا) وفى عام ١٩٨٥ فى مدينة مكسيكو سيتى.

مواد الأساسات

تحتل نماذج صخور أو رواسب الأساسات التي تشكل سطح التربة أهمية فائقة. فمثلا، تتذبذب الأساسات الصخرية الصلدة بترددات عالية ويمكن أن تتأثر بالموجات الأولية والثانوية النشطة الصادرة من مركز سطحي قريب؛ بينما تتذبذب الرواسب الرخوة أو المشبعة بالماء بترددات منخفضة؛ ويمكن أن تتمدد بالموجات السطحية الصادرة من زلازل بعيدة؛ كما أن المنحدرات غالبا ما تنهار على هيئة انزلاقات أرضية إذا تعرضت لهزة عنيفة.

نظام البناء

لنظام البناء أهمية قصوى. فما السبب في الوفيات أثناء الزلازل؟ ليس السبب هو اهتزاز الأرض، بل اهتزاز المباني والكبارى والمنشآت الأخرى التي تنهار وتسقط علينا. **فالزلازل لا تقتل ولكن المباني هي التي تقتل**. فالمباني ذات ترددات في الاهتزاز بنفس معدلات الموجات الزلزالية. وتتزايد الترددات العالية لاهتزازات الموجات الابتدائية (الأولية) والثانوية بفعل: (١) مواد البناء الصلدة مثل قوالب الطوب والأحجار، (٢) المباني القصيرة. فإذا بنى هذا النظام فوق أساسات عالية التردد من الصخر الصلد وكانت بالقرب من المركز السطحي لزم الحذر!

وتتزايد حركة الموجات السطحية ذات التردد المنخفض في المباني العالية ذات الترددات المنخفضة من التذبذب. فإذا كانت هذه المباني العالية تقع كذلك فوق طبقة من الرمال أو الطين الرخوة والمشبعة بالماء ذات التردد المنخفض وكانت بعيدة عن الزلازل فربما وقعت الكارثة.

زمن استمرار الهزة

لم يوفَّ زمن استمرار الهزة حقه بصفته أحد العناصر الفعالة في إحداث الخسائر في الأرواح والممتلكات. تأمل أزمنة الهزات في (الجدول ٣-٧). فمثلا،

إذا استمرت هزة زلزال قوته ٧ تهز بعنف لمدة ٥٠ ثانية بدلا من ٢٠ ثانية كانت الزيادة فى الخسائر فى الأرواح والممتلكات فادحة.

حاشية جانبية: تصميم المباني فى المناطق المعرضة للزلازل

من المشكلات التى تواجه تصميم المباني فى المناطق المعرضة للزلازل الحاجة إلى تجاهل حدوث الرنين. فكيف يكون ذلك؟ (١) غير ارتفاع المبنى. (٢) اجعل معظم الأحمال (الأوزان) فى الطوابق السفلى. (٣) غير شكل المبنى. (٤) غير أنظمة مواد البناء. (٥) غير درجات أربطة المبنى بقواعد أساساته. فمثلا، إذا كانت تربة الأساس صخرية صلبة تنقل بكفاءة ذبذبات (التردد العالى) ذات المدى القصير، فحينئذ تستطيع أن تبني بناء أعلى يكون قابلا للانشاء. وإذا كانت تربة الأساس طبقة رسوبية سميكة (منخفضة التردد) ذات اهتزاز طويل المدى، فحينئذ تستطيع أن تبني بناء أقصر وأقوى. أما بالنسبة لمواد البناء فالخشب مرن وخفيف الوزن وكتلته صغيرة وقادر على تحمل التسارع الكبير. وتتميز الخرسانة بقوة تضاغطية كبيرة ولكنها تعاني من الانهيار الهش بسهولة تحت جهد الشد. وللصلب قابلية للسحب والطرق وقوة شد عالية ولكن أعمدة الصلب تنهار تحت جهد التضاغط.

ومكونات البناء التى تتحمل حركة الأرض أساسية. ففي المستوى الأفقى توجد الأرضيات والأسقف والجمالونات (الشكل ٣-٣٣). وفى المستوى الرأسى توجد: (١) حوائط الحمل، (٢) الإطارات المقواة، (٣) إطارات مقاومة العزم.

الأرضيات والأسقف والجمالونات

تهيئ الأرضيات والأسقف والجمالونات الجيدة البناء المقاومة الأفقية للموجات الزلزالية حيث تعمل على نقل القوى الناجمة عن الزلزال إلى عناصر المقاومة الرأسية

(حوائط الحمل والإطارات). ومن المكونات المهمة فى قدرة البناء على المقاومة تأمين ربط الأرضيات والأسقف وتعشيقها فى الحوائط حتى لا تنفصل عنها وتنهار.

حوائط الحمل

تسمى الحوائط المصممة لتلقى القوى الأفقية من الأرضيات والأسقف والجمالونات ولتنقلها إلى الأرض بحوائط الحمل. وفى البناء يجب أن تكون حوائط الحمل قوية وجيدة الربط الآمن بينها وبين بعضها وكذلك بينها وبين العناصر الأفقية. وفى المباني البسيطة تحرك الطاقة الزلزالية الأرض محدثة قوى القصور الذاتى التى تحرك العناصر الأفقية؛ وهذه الحركة تقاومها حوائط الحمل، وتنقل القوى عائدة إلى الأرض.

«والمنزل المبنى من أوراق اللعب» مبنى على حوائط الحمل، رغم أن كل حائط ليس قويا بالقدر الكافى. ويجب أن تكون زوايا الحوائط قائمة ويفضل أن تكون مصفوفة بنظام بسيط (الشكل ٣-٣٤). ويمكن تقوية هذا المنزل المبنى من أوراق اللعب بالقدر الكافى إذا ربطت جيدا العناصر الأفقية والرأسية فيها.

والبناء الذى يبنى عادة بعدد غير كاف من حوائط الحمل هو موقف السيارات المتعدد الطوابق. فالبنائون لا يريدون إضافة التكلفة بإضافة حوائط أكثر، تقلل من الفراغات اللازمة لتوقيف السيارات وتقيّد حركة المرور داخل مبنى المواقف.

الإطارات المقواة

والدعم طريقة أخرى تضيف على البناء قدرة على مقاومة الزلازل. فالدعامة توفر القوة للمبنى وتهيئ المقاومة لحركات الأرض إلى أعلى وإلى أسفل وإلى الأجناب (الشكل ٣-٣٦). وينبغى أن تكون المواد المستخدمة فى الدعم لدنة بحيث تتوافر فيها القدرة على التشكل دون الانهيار أو التمزق.

إطارات مقاومة العزم

والمباني ذات الإطارات المقاومة للعزم مبان نمطية من الصلب ذات وصلات صلبة ملحومة. وتهيئ منظومة الإطارات المتكاملة من الصلب اللدن كثيرا من المقاومة لقوى الزلازل. فإطارات مقاومة العزم يفضلها الكثير من المهندسين المعماريين اليوم لأنها تهيئ فراغات أوسع من البناء ذي حوائط الحمل. ويهيئ حرية أكثر للتصميم الجمالي واستغلالا أفضل للفراغات الداخلية.

عزل الأساسات

عندما تهتز الأرض، تنتقل الطاقة إلى المباني. فكيف يمكن إنقاذ المباني من هذه الطاقة المدمرة؟ تستخدم التصميمات الحديثة عزل الأساسات حيث توضع وسائل على الأرض أو في البناء لتمتص جزءا من طاقة الزلزال. فمثلا، تصور أنك واقف على حمالة منزلقة أثناء الزلزال؛ فهل تتحرك بقدر حركة الأرض؟ فعزل الأساسات يستخدم عجلات ورمانات بلى وروادع ارتجاج وورداً مطاطية وتصميمات إبداعية أخرى لعزل المبنى عن أسوأ الهزات (الشكل ٣-٣٧).

حالة تاريخية عن متغيرات ميركالي

زلزال وادي سان فيرناندو بكاليفورنيا في ١٩٧١

حدث زلزال (سيلمار) بوادي سان فيرناندو في يوم ٩ فبراير ١٩٧١ في القسم الشمالي الغربي من مدينة لوس أنجلوس الضخمة في الساعة ٦ صباحا محدثا ٦٧ وفاة (بما فيهم من أزمات قلبية). ومن أكثر العناصر حرجا في تقرير الخسائر في الأرواح من الزلازل عنصر الوقت من اليوم الذي تحدث فيه. ففي كاليفورنيا بالنسبة لمعظم الناس يعتبر أفضل وقت لحدوث الزلزال عندما يكونون في منازلهم؛ والمنازل

النمطية ذات الطابق الواحد أو الطابقين والمنازل ذات الإطارات الخشبية هي عادة الأكثر أمنا.

قوة الزلزال

وقوة الزلزال ٦.٥ على مقياس ريختر ذات ٣.٥ تابع بقوة ٤.٠ أو أعلى تحدث في السبع دقائق الأولى بعد الهزة الرئيسية. وفي هذا تفريغ لقدر كبير من الطاقة في المناطق المدنية.

المسافة من المركز السطحي

والمسافة من المركز السطحي متغير ثابت تماما في هذا الحدث. ونموذج عين الثور الأكثر انتظاما الناتج عن وضع كنتورات للخسائر موضح في التسلسل الرقمي لميركالي (الشكل ٣-٣٨).

مواد الأساسات

ليست نماذج مواد الأساسات عنصرا حيويا في هذا الحدث.

نظام البناء

والمشكلة الكبرى تقع في المباني والكبارى والسدود الضعيفة التصميم؛ إذ قتل ثلاثة أشخاص في مستشفى أوليف فيو عند انهيار دورها الأول الهش المكون في معظمه من نوافذ ذات ألواح زجاجية كبيرة. ومباني الدور الأول الهش تحمل الوزن الثقيل للأدوار العليا بدون حوائط حمل كافية أو إطارات مدعمة تتحمل التسارع الأفقي

(الشكل ٣-٣٩ أ). ولا يزال الكثير من هذه المباني قائما رغم استثنائه المعروف من السقوط أثناء الزلازل (الشكل ٣-٣٩ ب).

وتسبب انهيار مستشفى آخر في وفاة ٤٧ شخصا. وبعض المباني المنشأة قبل عام ١٩٣٣ في مستشفى إدارة المحاربين القدماء استخدمت قوالب الطوب المفرغ لبناء حوائط صممت فقط لتحمل الأحمال الرأسية. وتحطمت الكثير من قوالب الطوب الصلصالية المفرغة تحت وطأة التسارع الأفقى الذى يماثل ١,٢٥ ضعفاً من الجاذبية.

وانهارت جسور (كبارى) الطرق السريعة فقتلت ثلاثة أشخاص. فالجسر المقام على الطريق السريع كتلة أفقية ثقيلة (على سطح الطريق) محمل أعلاها على أعمدة رأسية. وأدى تأرجح هذه الكتل العلوية الثقيلة ذات الأربطة الضعيفة بين عناصرها الأفقية والرأسية إلى الانهيار حين تحركت الأعمدة للخارج تحت أسطح الطريق المرتفعة (الشكل ٣-٤٠). والدروس المستفادة من الانهيارات التى حدثت فى عام ١٩٧١ لم تطبق جيدا حتى عام ١٩٨٩، عندما انهار الطريق العلوى بين الولايات رقم ٨٨٠ فى أوكلاند أثناء سلسلة الزلازل العالمية وقتل فيه ٤٢ شخصا.

مدة استمرار الاهتزاز

استمرت الهزة الأرضية العنيفة ١٢ ثانية. وتحدث الهزات النمطية فى زلزال قوته ٦ لمدة تتراوح من ١٠ حتى ٣٠ ثانية (الجدول ٣-٧). والوقت القصير نسبيا للهزات العنيفة فى وادى سان فيرناندو ذو أهمية كبرى. وكان الخزان الأدنى فى فان نورمان يحتفظ بماء قدرة ١١٠٠٠ إيكير - قدم (*) عند حدوث الزلزال. وكان السد مشيدا فى عام ١٩١٢ على أنه بناء لتخزين الماء حيث يصب الماء والرواسب فى نطاق يحتفظ بكتلة ضخمة؛ وهذه ليست هى الطريقة الصحيحة لبناء السدود القوية. وفى أثناء الزلزال بدأ السد فى الانهيار بانزلاق أرضى وفقد ٣٠ قدما من ارتفاعه (٨٠٠٠٠٠ ياردة مكعبة من كتلته)

(*) إيكير - قدم = ٢٢٦,٠٠٠ جالون = ١,٢٢٠ م^٣. (المترجم)

ولم يبق فوق سطح الماء سوى ٤ أقدام فقط حين توقف الاهتزاز (الشكل ٣-٤١). فماذا كان يحدث لو أن الاهتزاز استمر خمس ثوان أخرى؟ وخلف السد يعيش ٨٠٠٠٠ نسمة.

نتعلم من الماضى لنخطط للمستقبل

أوضح زلزال وادى سان فيرناندو فى عام ١٩٧١ بجلاء المخاطر التى يتعرض لها الإقليم. صدقت العبارة الفصحى القائلة أن «الماضى ما هو إلا مقدمة» وأن «من يتجاهل دروس التاريخ أحرى بأن يكررها». فكم تعلمنا من دروس فى عام ١٩٧١؟ لقد وقع اختبار أليم فى يوم ١٧ يناير ١٩٩٤ عندما ضرب زلزال قوته ٦٫٧ نورثريدج المنطقة الملاصقة مباشرة (انظر الفصل الرابع). مات فى ذلك الوقت ٦١ شخصا وبلغت الخسائر ٣٠ بليون دولار. وانهارت نفس الأنظمة فى البناء، وسقطت الكبارى على الطرق السريعة. فلم يتعلم الناس كثيرا من دروس ١٩٧١.

موجز

غالباً ما تحدث الزلازل التى تهز الأرض من حركات مفاجئة على طول شروخ فى الأرض تدعى الصدوع. وبعض الصدوع الكبرى النشطة منذ ملايين السنين لها شعب فى طبقات الصخور طولها مئات الكيلومترات. وطبقات الصخور الرسوبية مستمرة فى الأصل وأفقية ومتراصة فى طبقات منتظمة (الأقدم عند القاع والأحدث عند القمة)؛ وعلى أية حال، تقطع حركات الصدوع الصخور فى كتل غير منتظمة، وفى بعض الأماكن تحدث تشوهات الصدوع ميولاً فى طبقات الصخور وربما تقلب نظام تطابقها. ويقيس علماء الجيولوجيا اتجاهات الأبعاد الثلاثة لطبقات الصخور عن طريق الميل (زاوية واتجاه الميل) والمضرب (اتجاه زاوية البوصلة للصخور القاطعة للمستوى الأفقى).

فنماذج صدع الميل المنزلق لها حركات عمودية شائعة. وتحدث الصدوع العادية بقوى تمديدية (تباعدية). وتحدث الصدوع المعكوسة بقوى تضاغطية (تندفع تجاه بعضها البعض). ونماذج صدع المضرب المنزلق تشيع فيها الشعب الأفقية. وعندما تمتطى الصدع، فإذا تحرك الجانب الأيمن نحوك فهو صدع يمينى جانبي؛ وإذا تحرك الجانب الأيسر نحوك فهو صدع يسارى جانبي. والثنيات (الدرجات) فى صدوع المضرب المنزلقة تحدث فى الأرض إما ارتفاعاً أو هبوطاً. وهناك نوع آخر من الصدوع يصل شُعَبُ أقسام مراكز الانتشار يسمى بالصدوع التحويلية.

وتنشر الزلازل (الهزات) طاقتها فى موجات زلزالية تتوزع من البؤرة أو من نقطة كسر الصدع. وتسمى النقطة على السطح الواقعة فوق كسر الصدع بالمركز السطحي أو نقطة فوق السطح. وتتم بعض الموجات الزلزالية فى باطن الأرض - الموجات الابتدائية (موجات أولية ذات حركة ضغط وشد) وموجات ثانوية (موجات ثانوية ذات حركة قص). وتتم موجات زلزالية أخرى على طول سطح الأرض (موجات لاف وموجات رايلي).

وتقدر طاقة الزلازل بقوته. وقد اشتقت مختلف التقديرات من مختلف الوسائل على أساس الهزة المحلية (مقياس ريختر)، أو الموجات الداخلية (m_b)، أو الموجات السطحية (M_s)، أو عزم قوة الاهتزاز (M_w). ويحدث أكثر من مليون زلزال للأرض كل عام، ولكن أكثر من ٩٠٪ من طاقتها تنصرف فى أكبر ١٢ حتى ١٨ حدثاً.

والموجات السنامية أضخم الموجات على الإطلاق. وتعمل الزلازل والثورات البركانية والانزلاقات الأرضية وارتطام الكويكبات على اضطراب الكتل المائية العميقة فى المحيطات بدفع أمواج نشيطة. والموجات السنامية التى تحدثها الزلازل عادة ما تجرى بسرعة تزيد عن ٥٠٠ ميل/ساعة وربما انفصلت عن بعضها لمدة ٦٠ دقيقة. وتتباطأ الموجات السنامية فى المياه الضحلة ولكنها لا تزال تتحرك بسرعات عالية. وربما ركزت التضاريس الطبوغرافية المحلية مثل الموانئ والخلجان الصغيرة طاقة الموجات السنامية محدثة أمواجاً تزيد عن ١٠٠ قدم فى الارتفاع، وتقتل آلاف البشر.

والموجات الزلزالية فترات زمنية مختلفة (الزمن بين الدورات) وترددات (عدد الدورات فى وحدة الزمن): فالمدة الزمنية = $1/\text{التردد}$. والموجات الابتدائية عادة لها من واحد حتى ٢٠ دورة فى الثانية؛ بينما الموجات السطحية عادة لها دورة واحدة كل واحد حتى ٢٠ ثانية. وعندما تماثل ترددات الموجات الزلزالية ترددات الاهتزازات فى الأساسات والموانى ربما يزيد الدمار.

وتقدر آثار الزلازل على المنشآت والبشر بمقياس ميركالى لشدة الزلزال. فمتغيراته هى قوة الزلزال والمسافة من بؤرته/ مركزه السطحي، ونوع صخر أو رواسب الأساسات، ونظام البناء ومدة استمرار الاهتزاز. ومقياس ميركالى لشدة الزلزال مجرد اهتمام علمى لأن الزلازل لا تقتل ولكن المباني هى التى تقتل.

مصطلحات للمذاكرة

acceleration	تسارع - عجلة
base isolation	عزل القاعدة
B. C. E.	قبل الزمن الحالى (ق.م.)
body wave	موجة داخلية
C. E.	الزمن الحالى (ميلادية)
cross section	قطاع مقطعى
dip	ميل
dip- slip fault	صدع ميل منزلق
ductility	ليونة - قابلية للسحب والطرق
fault	صدع
footwall	أرضية المنجم
fracture	كسر - شق
frequency	تردد - تكرار
granite	صخر نارى - جرانيت

hangingwall	سقف المنجم
hypocenter	بؤرة
inertia	القصور الذاتى
joint	مفصل – نقطة اتصال
Law of Original Continuity	القانون الأصيل للاستمرار
Law of Original Horizontality	القانون الأصيل للتسطح الأفقى للطبقات
Law of Superposition	قانون أقدمية التطابق
left lateral fault	صدع يسارى جانبى
magnitude	قوة
map	خريطة
normal fault	صدع عادى
period	مدى – فترة زمنية
permeability	نفاذية
primary or P wave	موجة ابتدائية
secondary or S wave	موجة ثانوية
seiche	موجة عارمة فى بحيرة أو خليج
seism	زلزال
seismic wave	موجة زلزالية
seismogram	رسم تسجيلى للزلزال
seismograph	مرسمة – مسجل الزلزال
seismology	علم الزلازل
seismometer	مقياس الزلازل (قوة – مدة – اتجاه)
stress	إجهاد
strike	مضرب
strike- slip fault	صدع مضرب منزلق
surface wave	موجة سطحية

transform fault

صدع تحويلي

tsunami

موجة سنامية فى المحيط

wavelength

طول الموجة

أسئلة للمراجعة

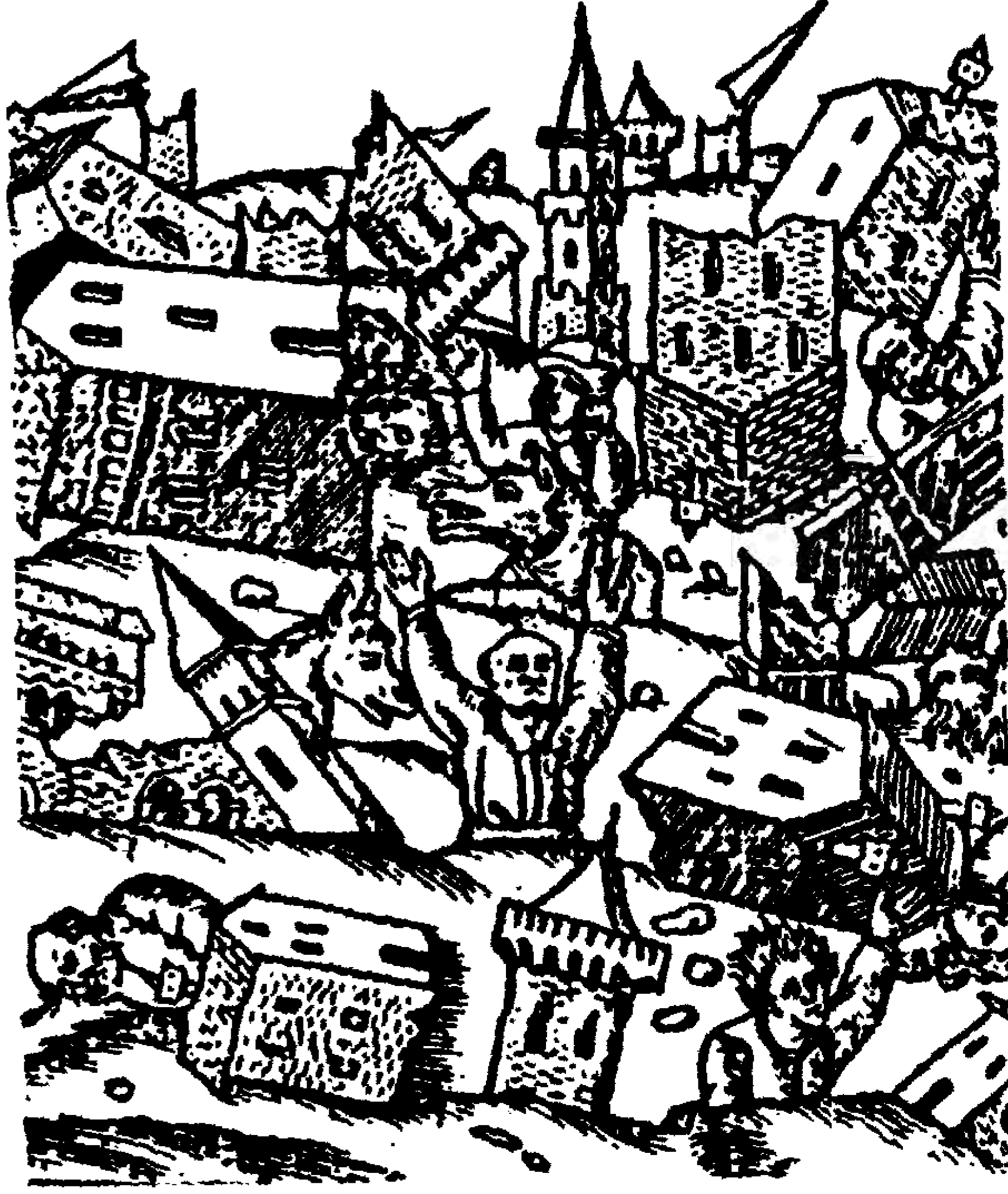
- ١ - ارسم قطاعا مقطوعيا لسلسلة من الطبقات الصخرية الرسوبية. واذكر أسماء أجزائها وشرح القانون الأصيل للاستمرار والقانون الأصيل للتسطح الأفقى للطبقات وقانون أقدمية التطابق؟
- ٢ - ارسم قطاعات مقطعية للصدع العادى والصدع المعكوس. وما هى القوى المختلفة التى تقرر نوعه؟
- ٣ - ارسم خريطة لصدع يمينى جانبي متدرج لليسار. وشرح ماذا يحدث للأرض عند الثنية (الدرجة) فى الصدع؟
- ٤ - ارسم خريطة تخطيطية لصدع مضرب منزلق وصدع تحويلي. وشرح أوجه الشبه والخلاف بينهما؟
- ٥ - ما الذى تخبرنا به الموجات الزلزالية الابتدائية والثانوية عن طبيعة باطن الأرض؟
- ٦ - كيف نستخدم أزمنة وصول الموجات الزلزالية الابتدائية والثانوية لتقدير مسافة المركز السطحي؟
- ٧ - كيف يمكن تمييز الهزات الإنذارية من الهزات التابعة؟
- ٨ - ما هو الفرق بين قوة الزلزال وشدة الزلزال؟
- ٩ - هل تتأثر المباني العالية بالموجات الزلزالية عالية التردد أكثر أم بالموجات المنخفضة التردد؟ ولماذا؟
- ١٠ - ما هى سرعة جريان الموجة السنامية؟ ما هى أطول الموجات السنامية النمطية وما هى فترات الزمنية؟ وما الذى يُحدث الموجة السنامية؟

١١- هل ترجع قدرة الموجات السنامية على القتل أكثر إلى ارتفاع الموجات أم إلى طول الموجات الذي يسمح لها باجتياح اليابسة؟

أسئلة لمزيد من التأمل

- ١ - ارسم قطاعا مقطوعيا يوضح صدعا مائلا وتقع بؤرته على عمق ١٥ كم (٩ أميال). وهل يقع المركز السطحي فوق آثار سطح الصدع؟
- ٢ - ما هي إمكانات حدوث الزلازل على القمر (زلازل قمرية)؟ وهل للقمر أرقام مماثلة لشدة الزلازل وقوته لما للأرض؟ ولماذا؟
- ٣ - إذا كنت تطير بالطائرة فوق المركز السطحي لزلازل كبير فماذا يحدث لك؟
- ٤ - كيف يعتبر منزلك أو مكتبك آمنا من الزلازل؟ وما هي أقرب الصدوع إليه؟ وما نوع مادة التربة التي بنى عليها منزلك أو مكتبك؟ كيف يكون رد فعل حجم وشكل ومواد بناء منزلك للهزة الأرضية؟ وما هي المعالم القريبة من منزلك التي يمكن أن تؤثر عليه؟ وما هي المخاطر التي تحدث داخل منزلك؟
- ٥ - ضع قائمة بأوجه التشابه بين طقطقة أصابعك وحركة الزلازل في الصدع؟

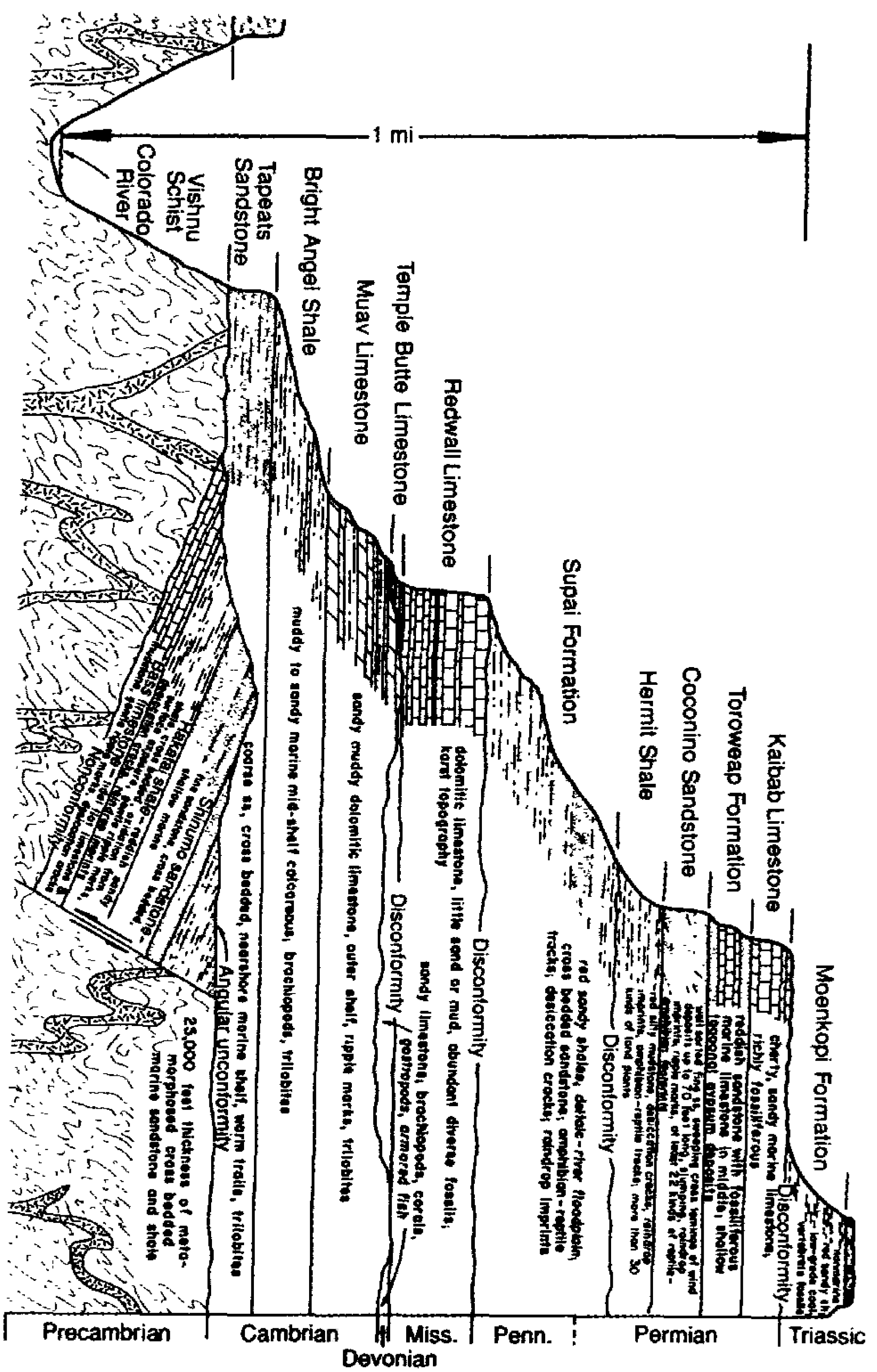
أشكال الفصل الثالث



الشكل (١-٣) زلزال لشبونة.

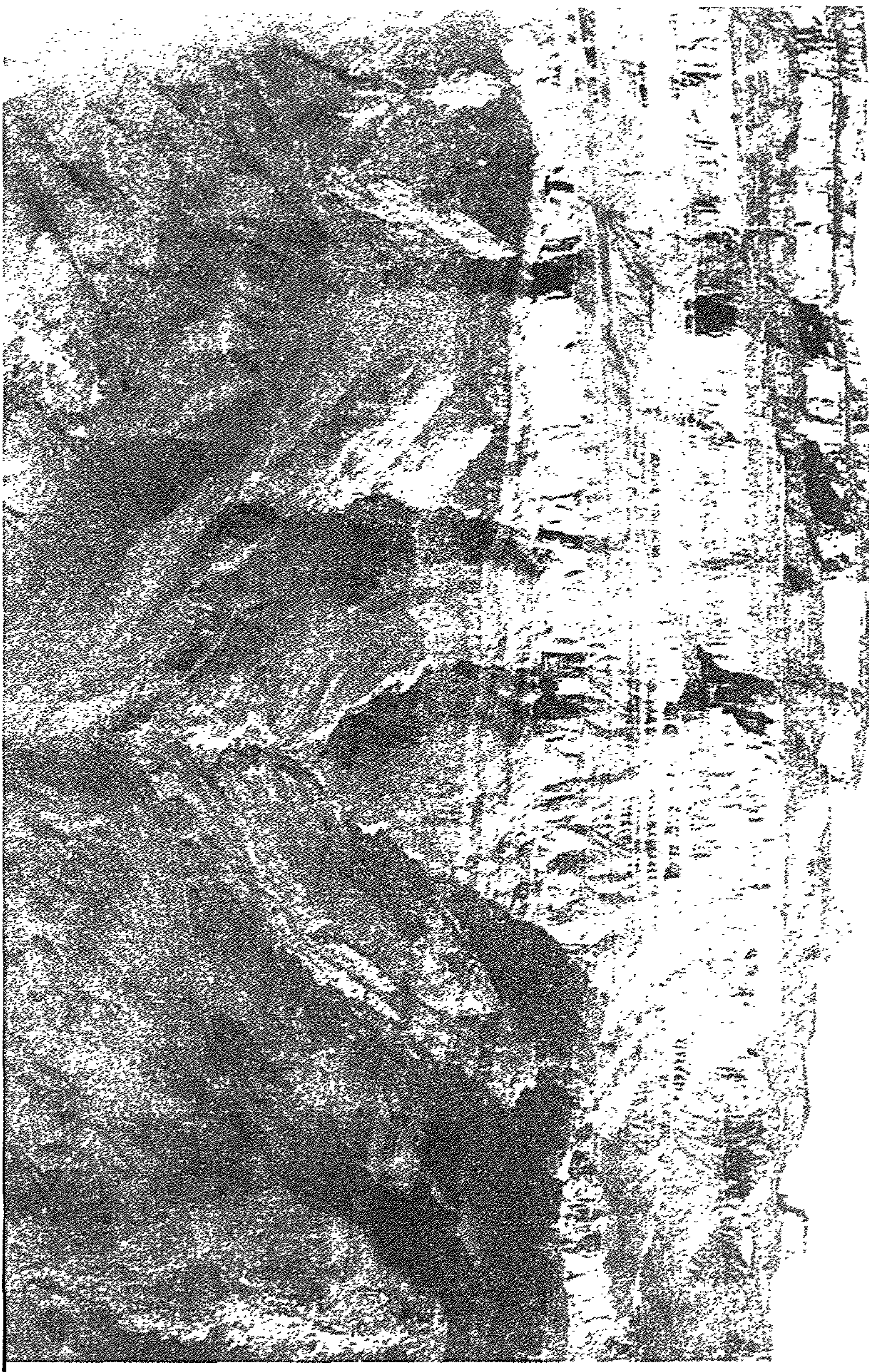


الشكل (٢-٣) قسم من أرض زراعية محروثة ومخططة وبها حركة صدع إمبريال في عام ١٩٧٩ في أقصى جنوبي كاليفورنيا. المنظر متجه إلى الشرق بينما الجزء الغربي من الصدع (القريب منك) تحرك شمالا (إلى يسارك).

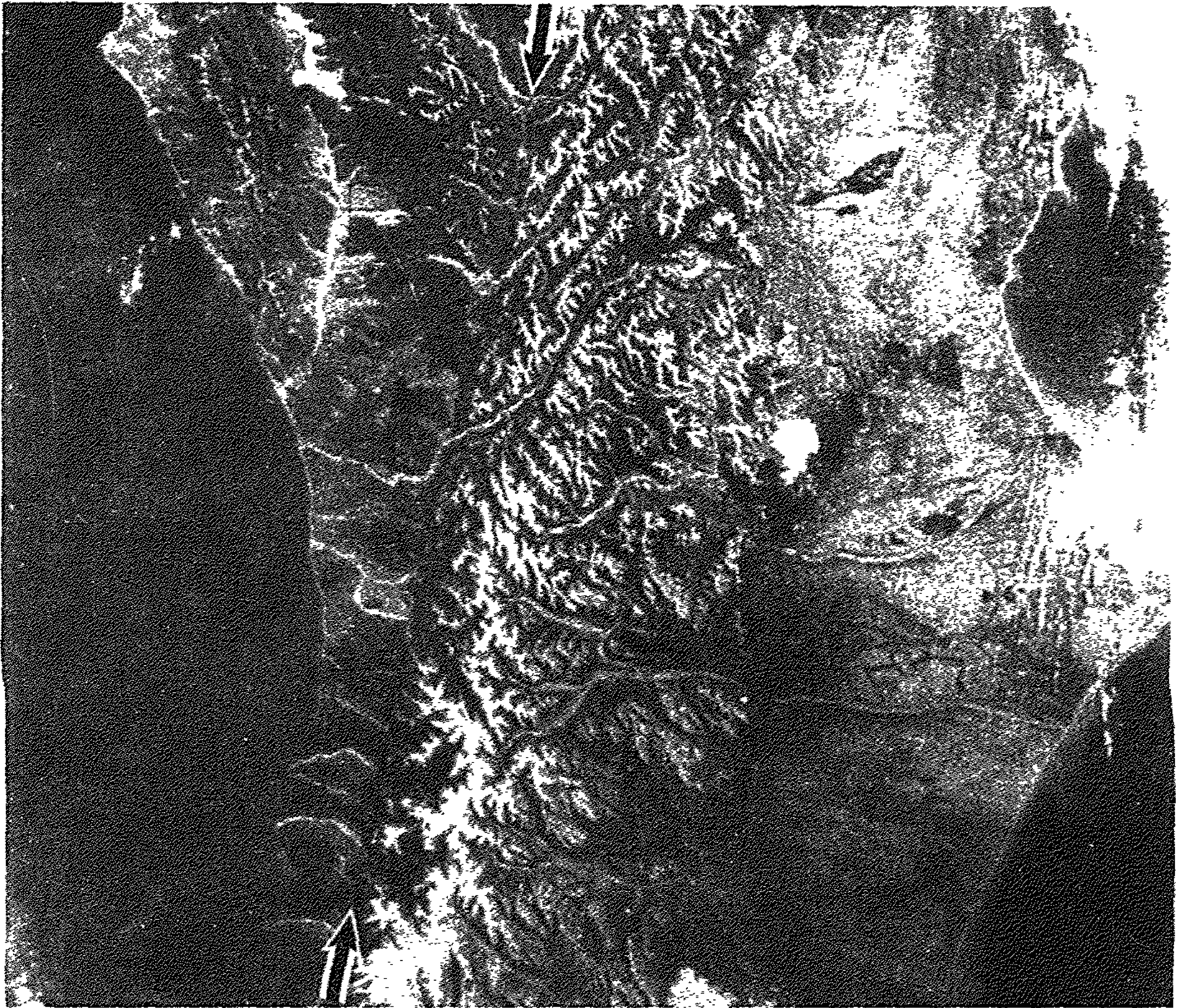


الشكل (٣-٢) قطاع مقطعي تمثيلي للخانق العظيم (جراند كانيون) في أريزونا. وتوضح فيه التواريخ الجيولوجية في مختلف المستويات.

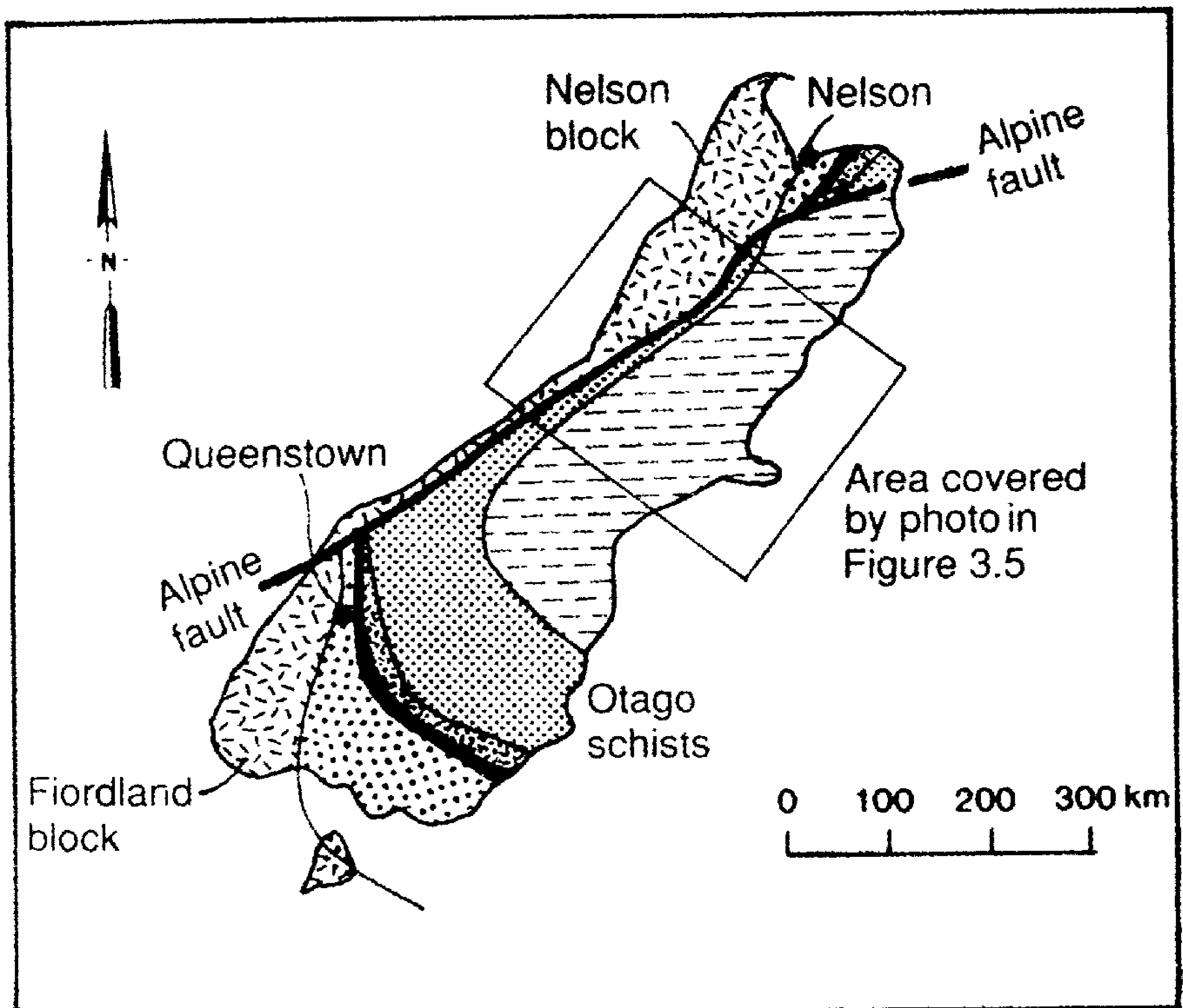
(١) فاقدم الصخور أسفلها؛ فهي موضوعة كرواسب في مياه بحرية، ثم دفنت إلى أعماق كبيرة وتحولت بالضغط والحرارة (بنظرية تحول الصخور)، ثم تعرضت في السطح ثانية للارتفاع والتحات. (٢) وترسبت الرواسب الأحدث في المياه البحرية الضحلة على شكل طبقات أفقية فوق الصخور الأقدم التي تشبهت (مثل الحجر الرملي سينومو)؛ وهذه الطبقات مالت وارتفعت فوق مستوى سطح البحر وتحانت. (٣) وعادت البحار وتكونت طبقات رسوبية أفقية أخرى، مكونة سلسلة رسوبية سمكية تقطعها فترات من التحات وترسيب طبقات رسوبية غير بحرية. (٤) وارتفع الإقليم، رافعا طبقاته فوق مستوى سطح البحر. وجرى نهر كولورادو ففتحت مجراه مكونا الخانق العظيم.



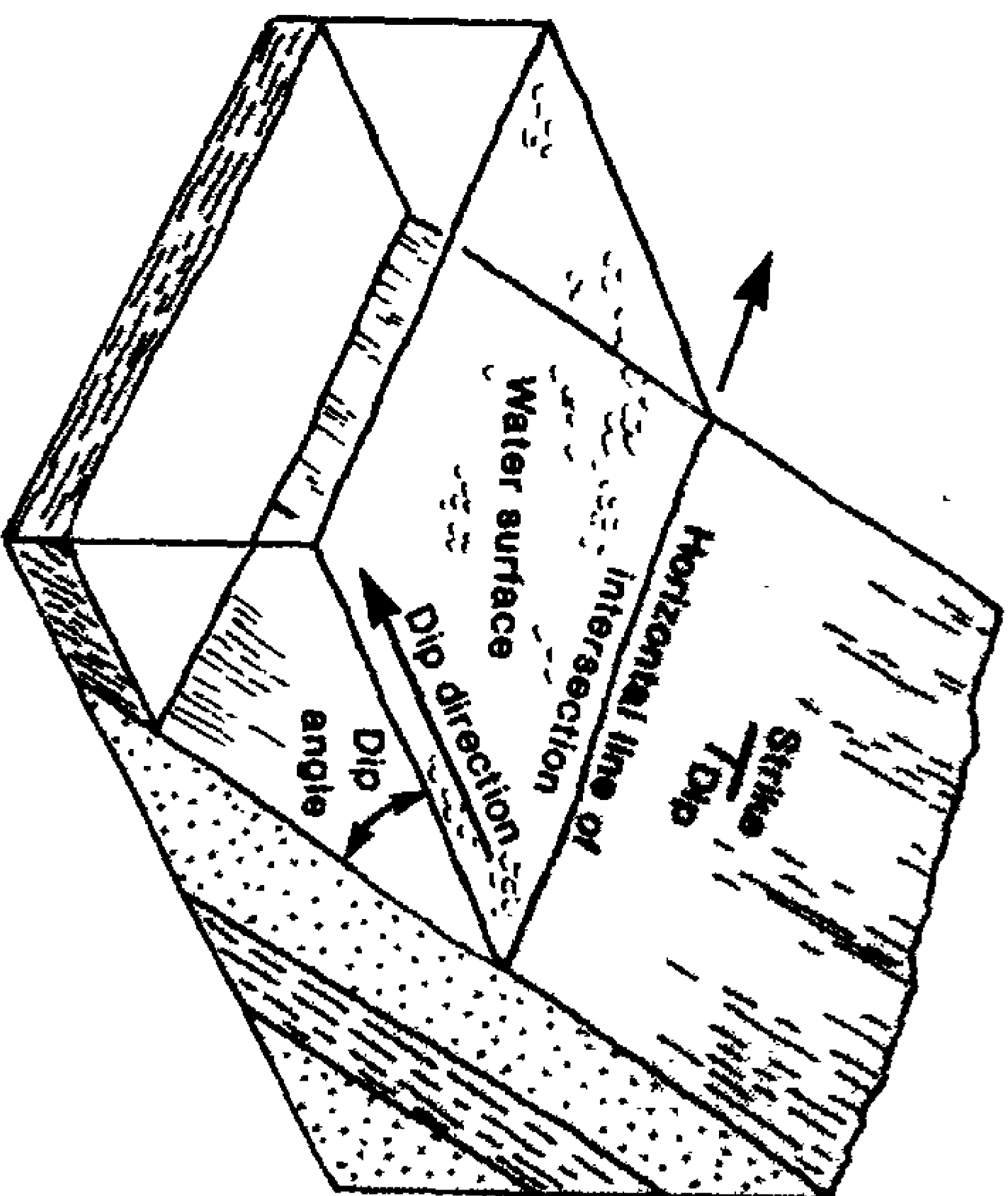
الشكل (٤-٣) الحائط الشمالي للخانق تميل طبقات الصخر الرسوبية التي كانت أفقية ناحية الشرق. ونهاياتها المائلة إلى أعلى تحاقت واندفنت تحت صخور تانيتس الرملية وطبقات الصخور الأحدث.



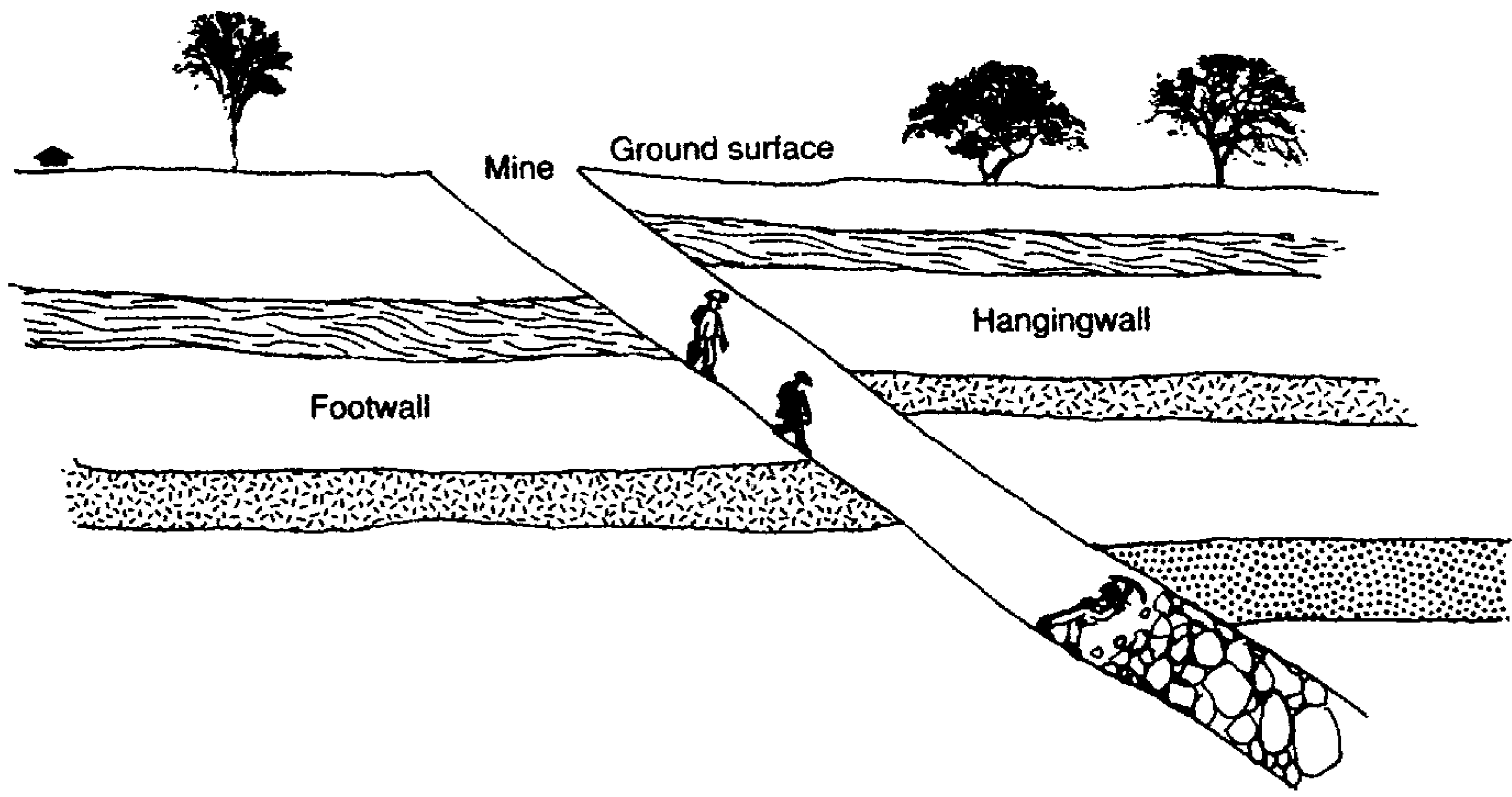
الشكل (٣-٥) صورة جوية للجزيرة الجنوبية في نيوزيلاند (انظر الموقع في الشكل ٣-٦). ويقطع صدع ألباين على شكل شرطة مائلة من نقطة بالقرب من أسفل الركن الأيسر للصورة (الجنوب الغربي) إلى أعلى المنتصف (الشمال الشرقي). وتحدد رءوس السهام حدود الصدع.



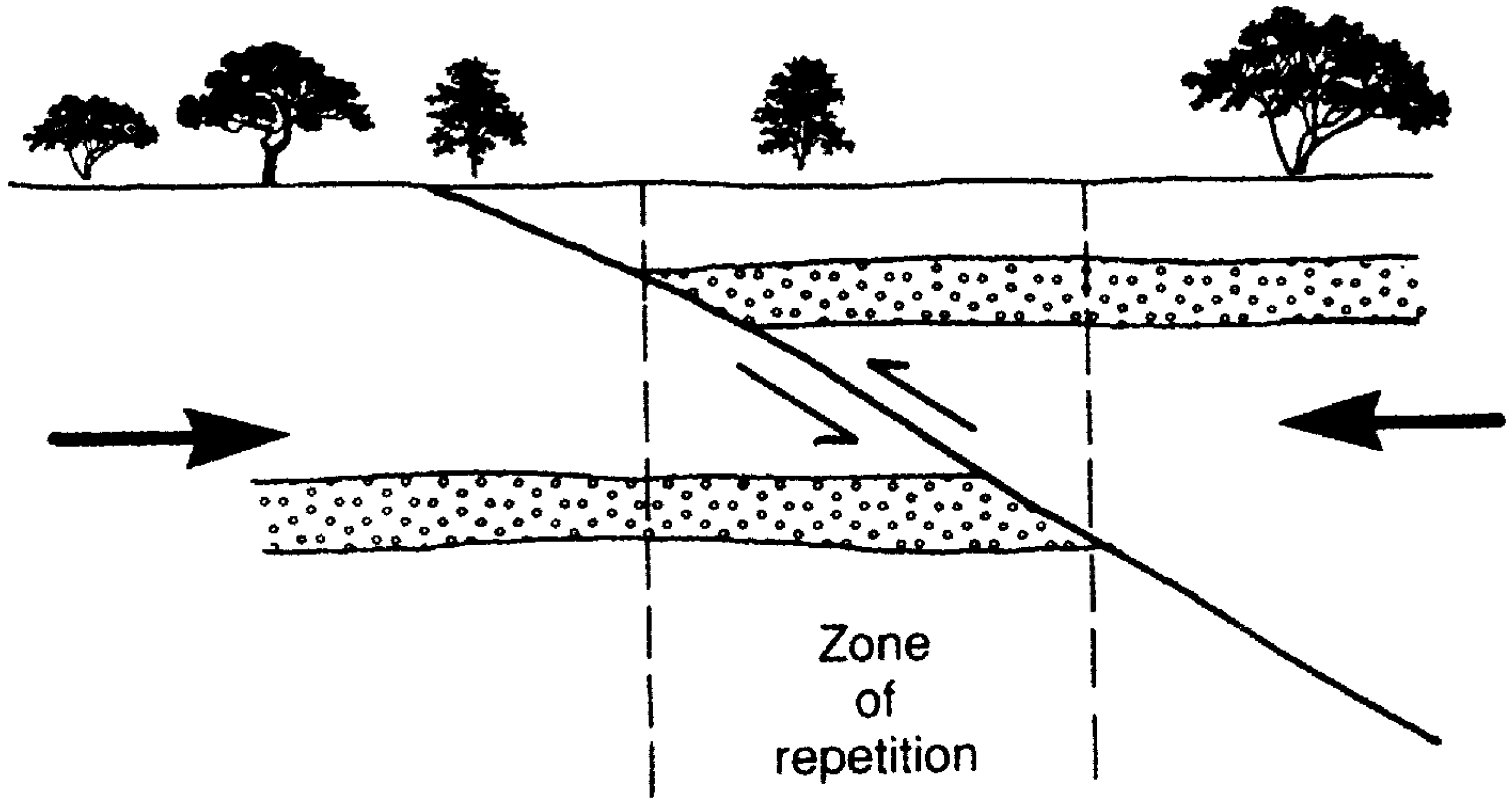
الشكل (٦-٣) خريطة جيولوجية عامة للجزيرة الجنوبية في نيوزيلاند. ويبين كل نموذج في الصورة نوعاً مختلفاً من الصخر. حدد موقع صدع ألباين ثم قارن نماذج الصخر حول الصدع. وتشعبت الصخور الحاملة للذهب بالقرب من كوينزتاون إلى ٤٨٠ كم بالقرب من نيلسون.



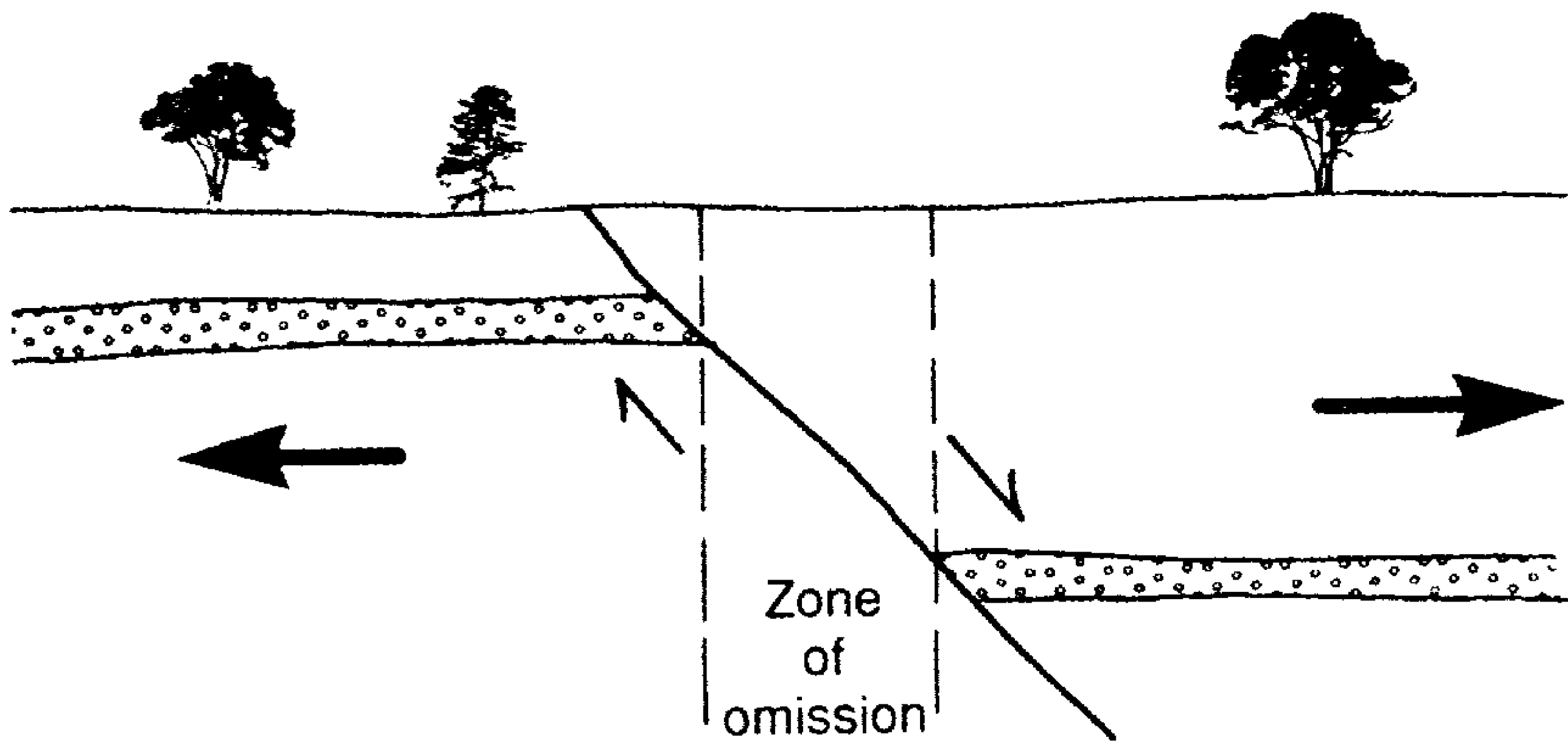
الشكل (٧-٢) (أ) طبقة من الحجر الرملي في خليج لاجولا في كاليفورنيا عمرها ٧٥ مليون سنة، معرضة للمد المتوسط الارتفاع. ويشكل سطح البحر مستوى أفقياً مقابل القاع المائل للحجر الرملي. (ب) ومضرب الطبقة الصخرية هو زاوية اتجاه البوصلة «خط الشاطئ». وزاوية الميل هي عدد الدرجات أسفل السطح الأفقي الذي تميله طبقة الصخر.



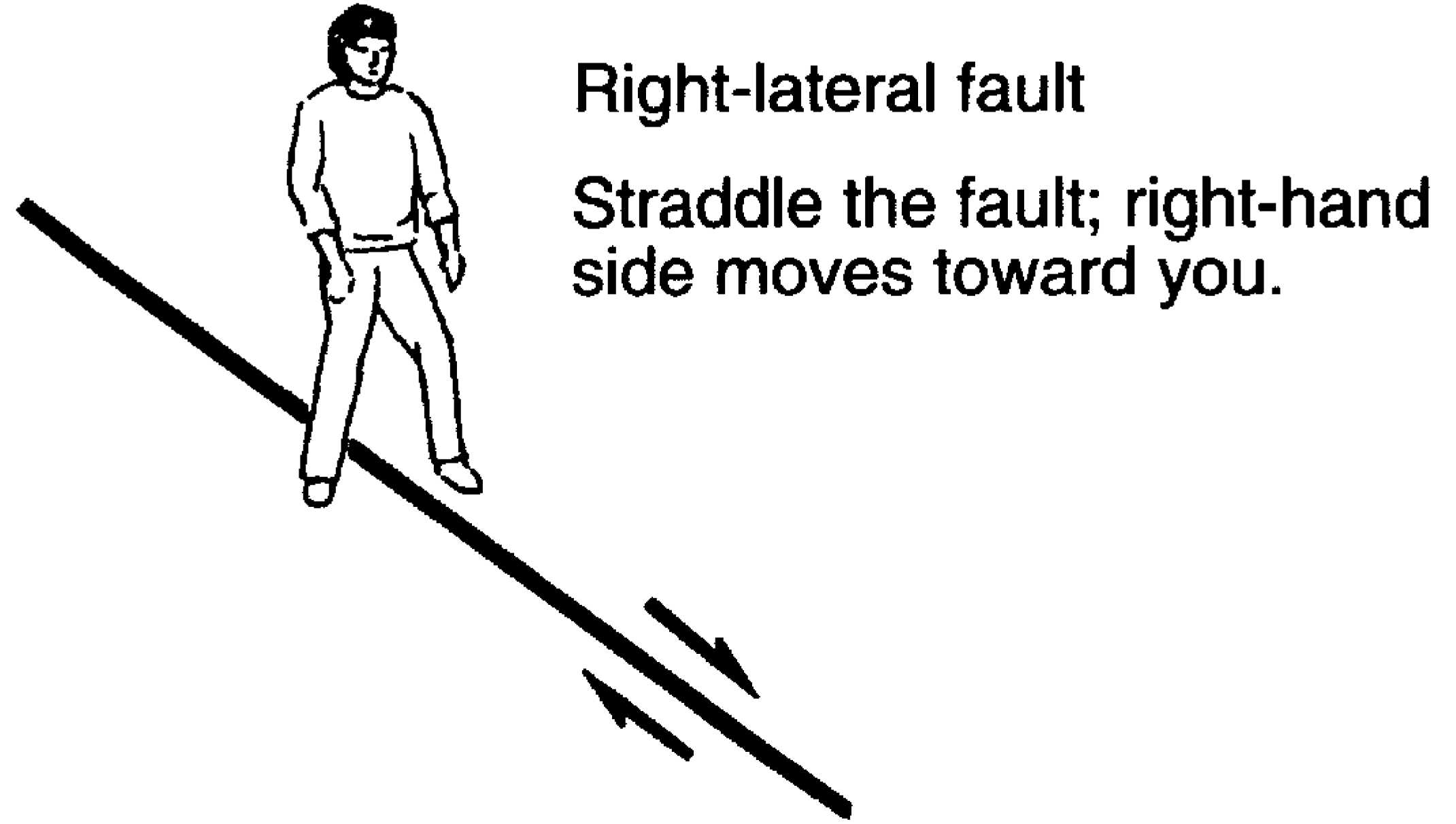
الشكل (٨-٣) قطاع مقطعى تخطيطى لعمال المناجم يستخرجون الخامات المنتشرة في الصخور المتكسرة في منطقة صدع قديم. لاحظ أن طبقات الصخر في الجدار السفلى والجدار العلوى (المعلق) ليست مستمرة؛ وهذا دليل على أن هناك حركات حدثت على طول الصدع في الماضي.



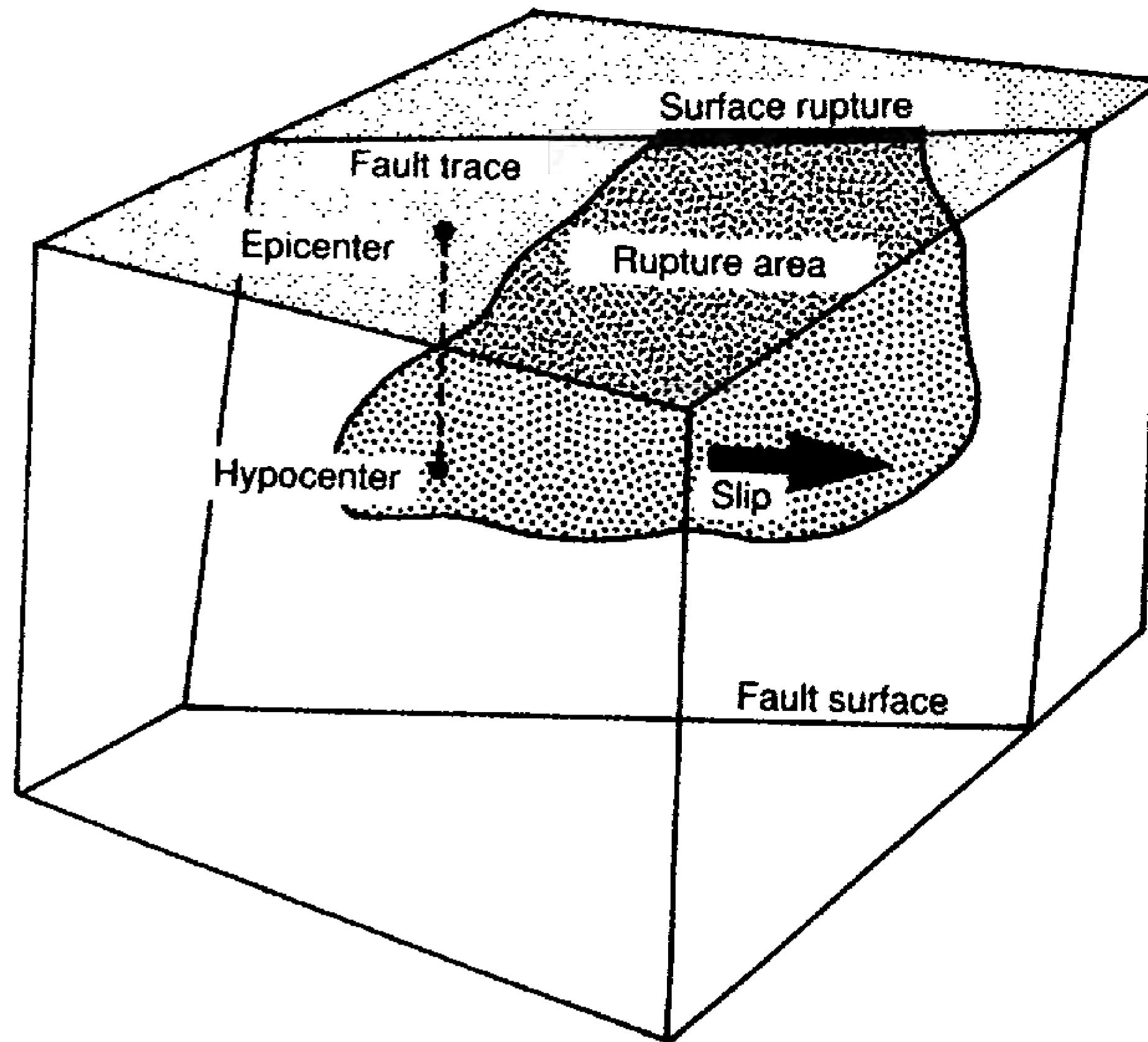
الشكل (٩-٣) قطاع مقطعي تخطيطي لصدع عادي، أي أن الحائط العلوي تحرك إلى أسفل (بمفهوم نسبي). وتؤكد منطقة الحذف (الإغفال) وجود قوى توسعية (تمددية)، حيث لا توجد طبقات الصخر المستمرة أصلاً. وتشير السهام الصغيرة إلى اتجاهات الحركة، بينما تشير السهام الكبيرة إلى اتجاهات القوة.



الشكل (١٠-٣) قطاع مقطعي تخطيطي لصدع معكوس، أي أن الحائط العلوي تحرك إلى أعلى (بمفهوم نسبي). وتؤكد منطقة التكرار وجود قوى تضاغطية، حيث انفصلت طبقات الصخر المستمرة أصلاً، وتندسرت مع بعضها وتكومت فوق بعضها البعض.



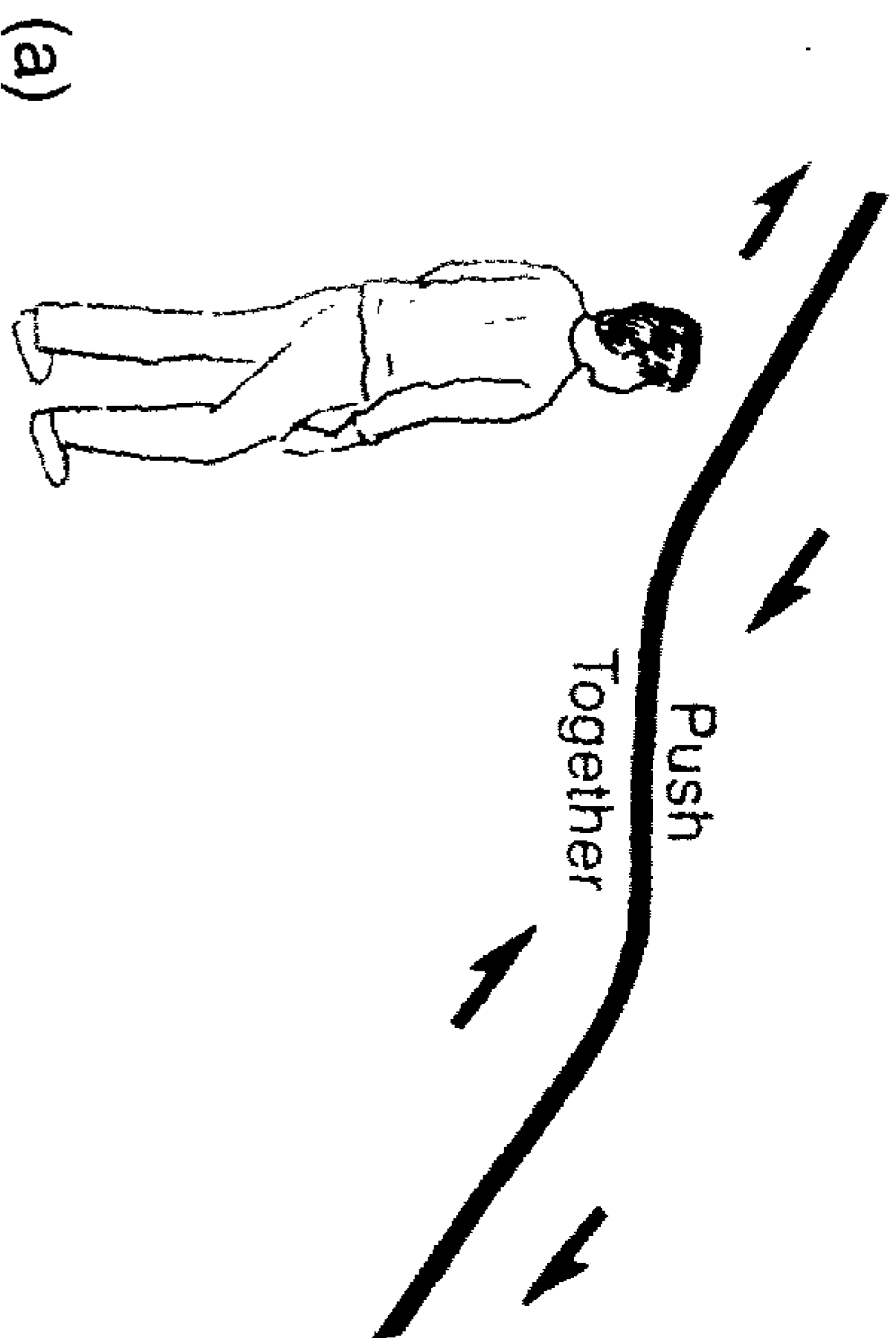
الشكل (١١-٢) خريطة لصدع مضرب منزلق يميني جانبي. وحيث إن الرجل يمتطي الصدع، فإن الجانب الأيمن للصدع تحرك نسبياً مقترباً منه. فإذا استدار، فهل لا يزال جانبه الأيمن يتحرك مقترباً منه؟



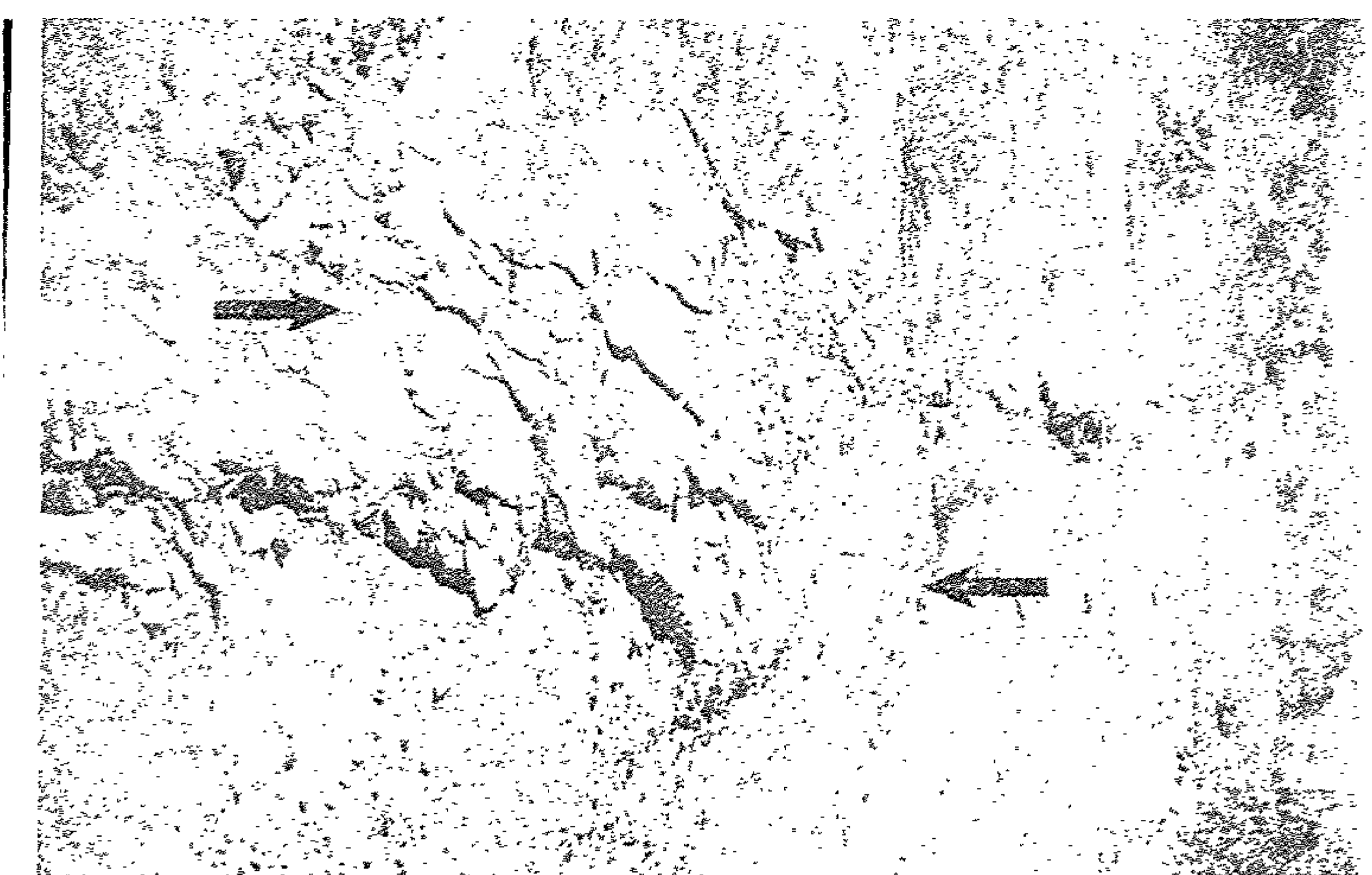
الشكل (١٢-٣) كتلة تخطيطية لسطح صدع. فبؤرة الزلزال هي المكان الذي يبدأ فيه الكسر، والمركز السطحي هو النقطة على سطح الأرض التي تقع فوق البؤرة. لاحظ أن سطح الصدع مائل، ولذلك لم يقع المركز السطحي على أثر الصدع عند السطح.

Left-stepping Right-lateral fault

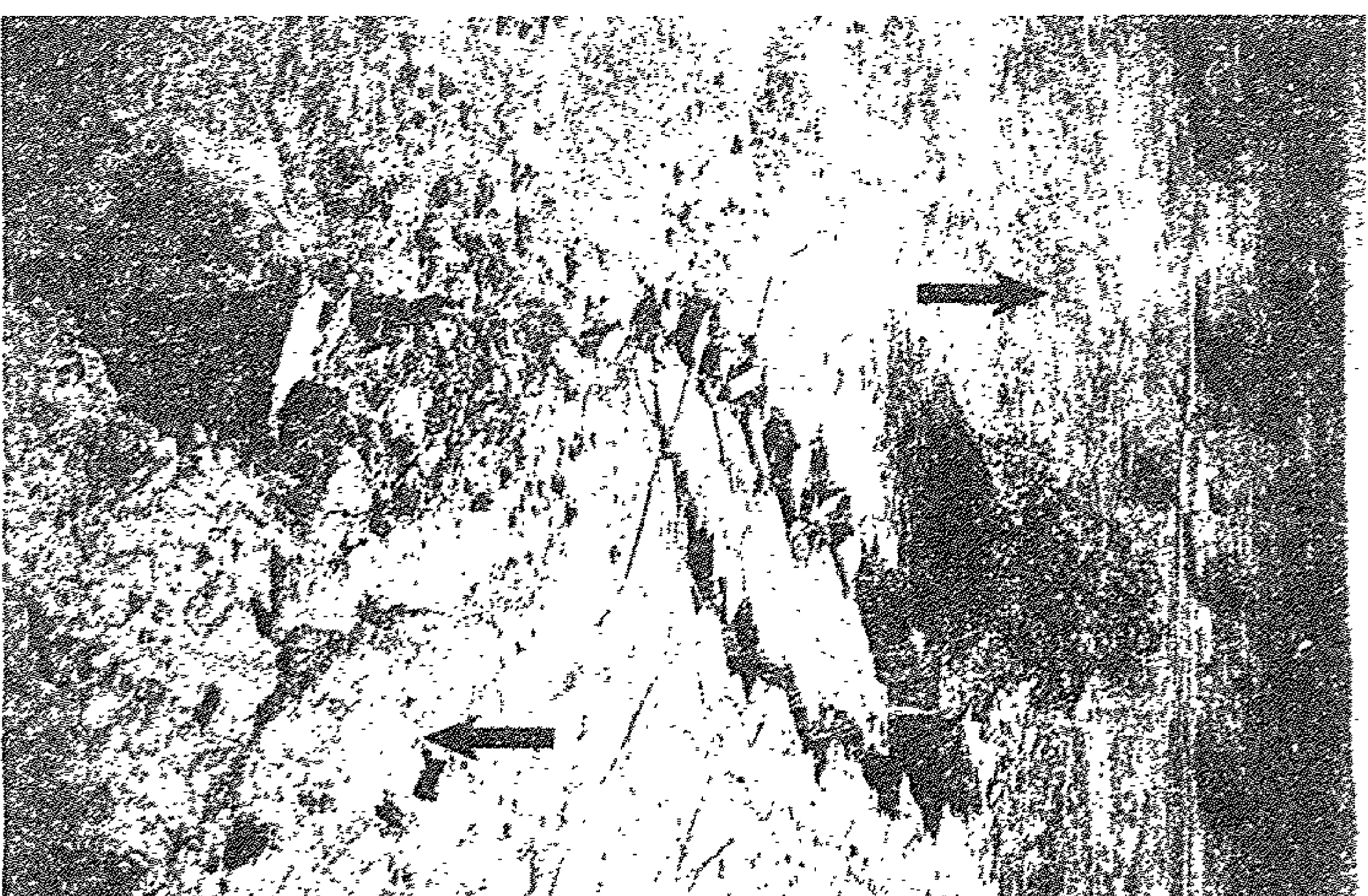
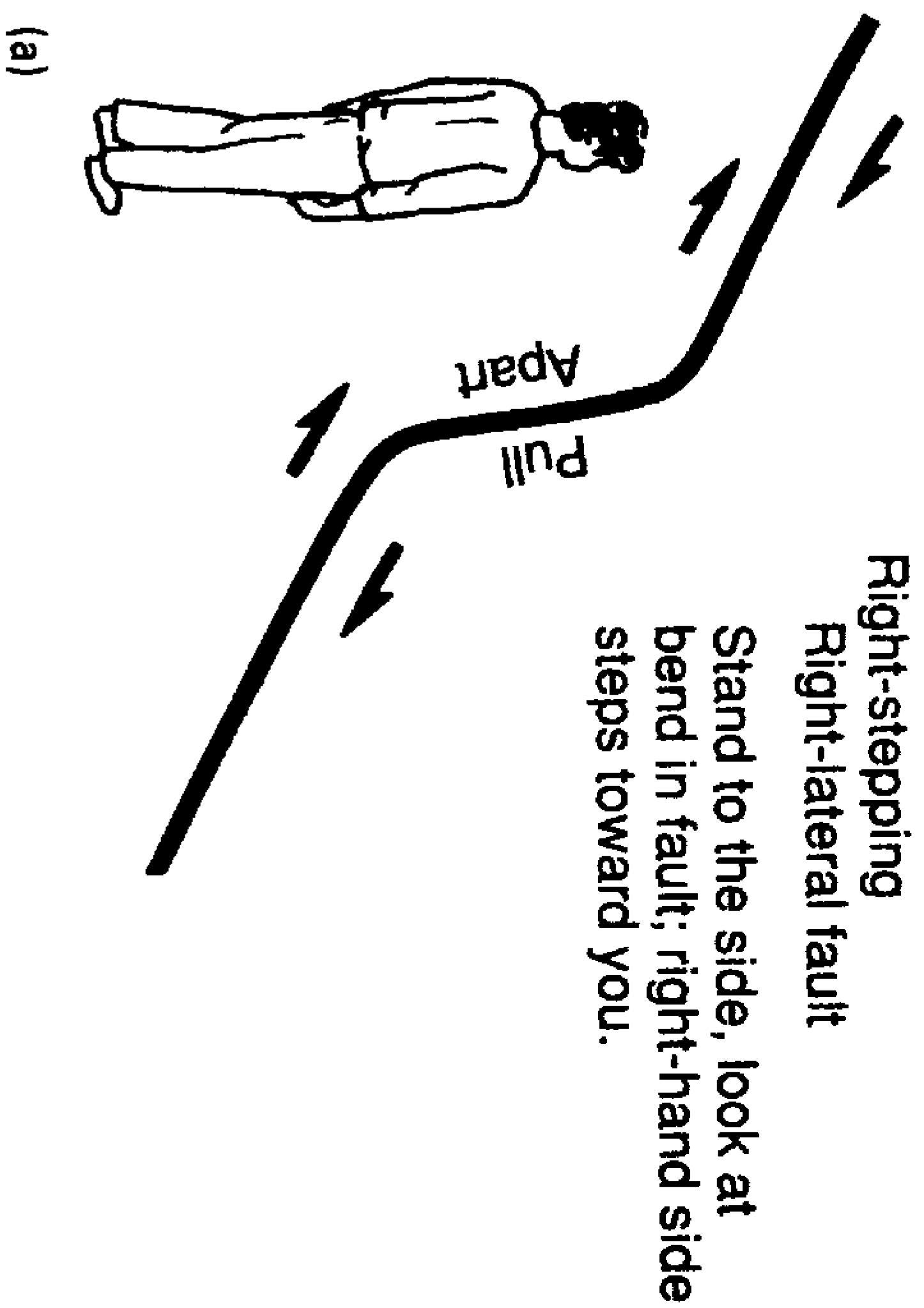
Stand to the side, look at
bend in fault; left-hand side
steps toward you.



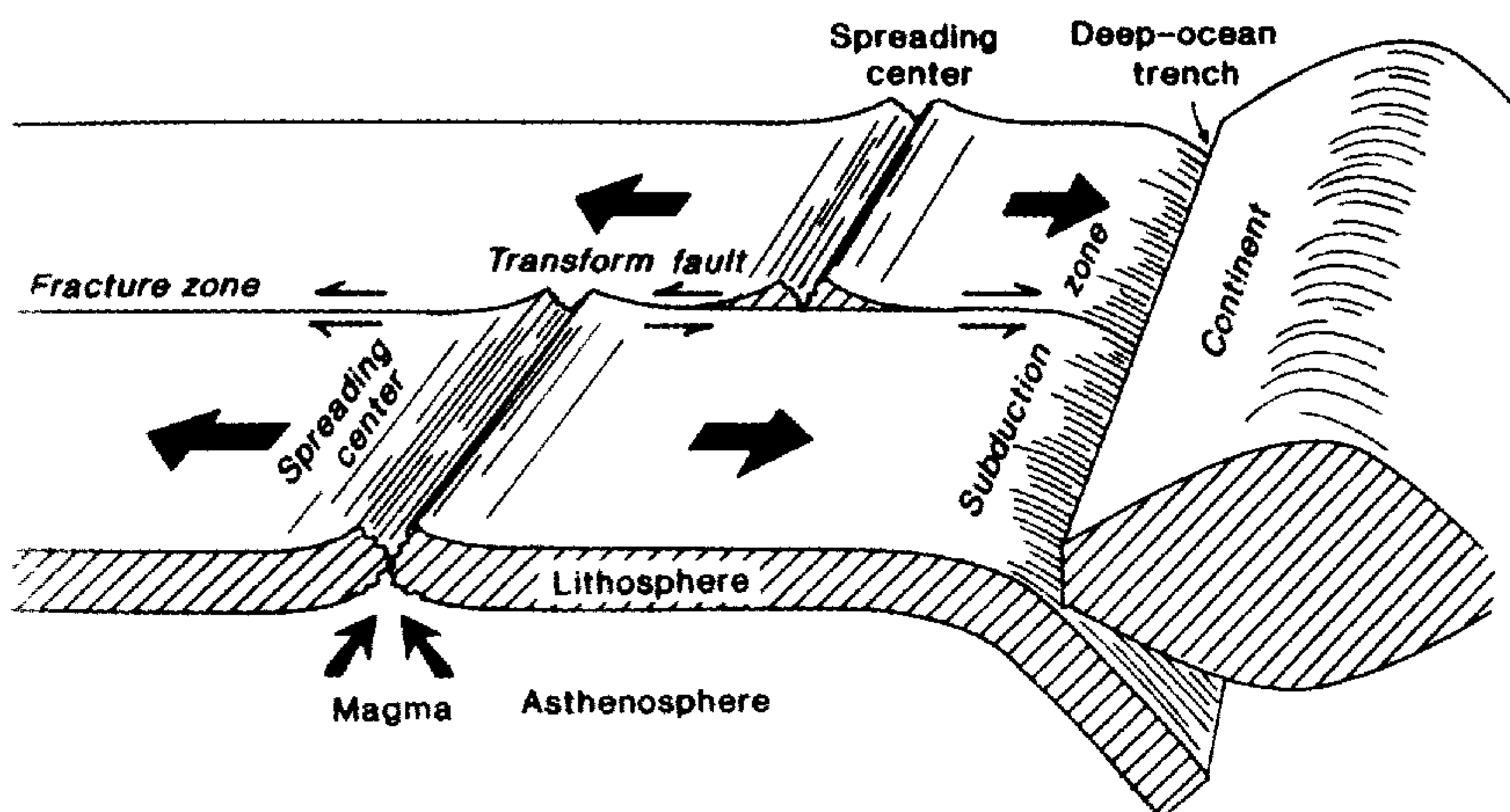
(b)



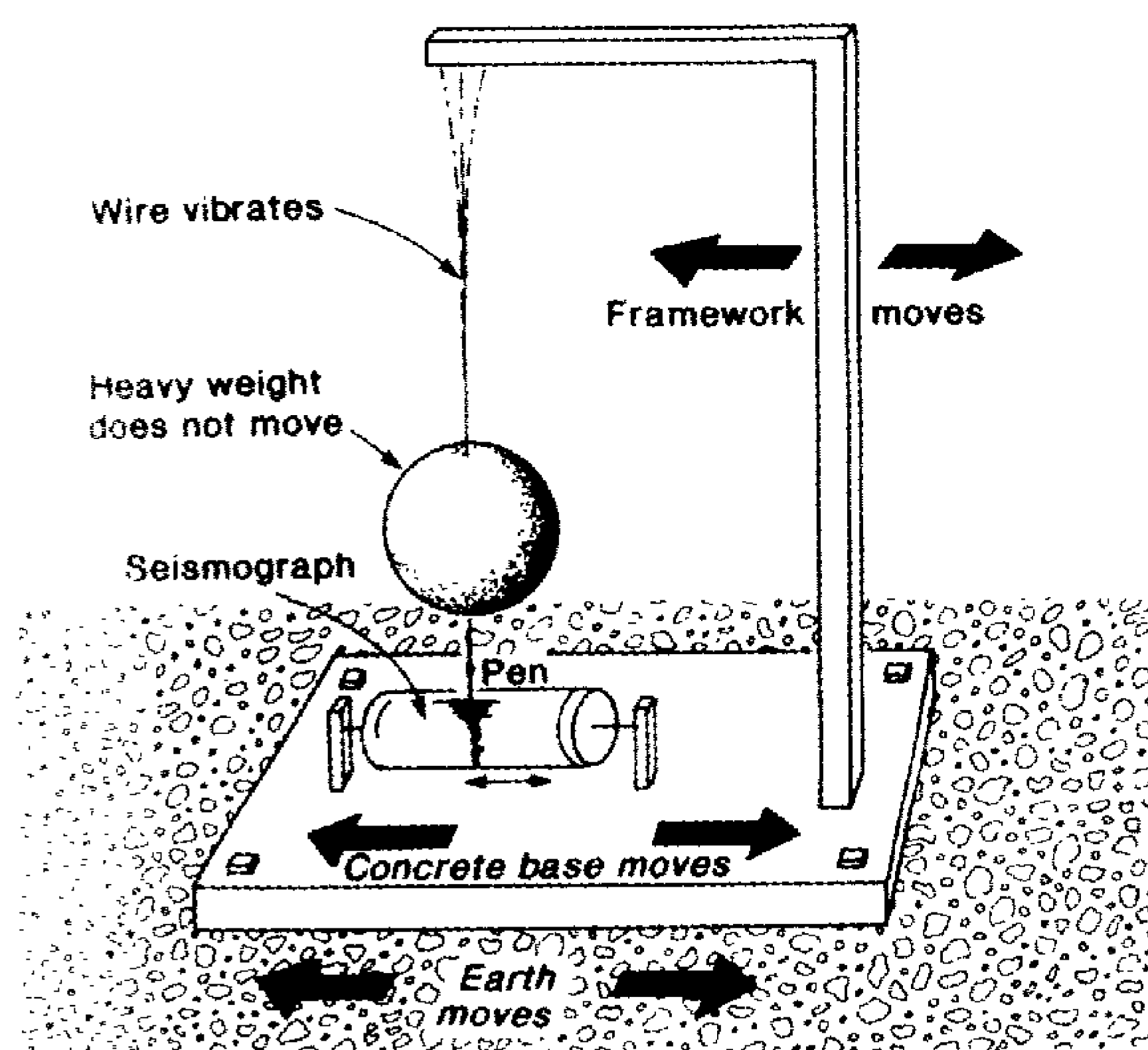
الشكل (١٣-٢) (أ) تدرج يسارى فى صدع يمينى جانبى. لاحظ أن الأرض يضغط على بعضها البعض عند ثنية (التواء) الصدع عندما يتحرك الصدع. وتشكل الحركة تلا يمكن أن ينمو إلى جبل إذا ظل الصدع نشيطا لفترة طويلة. (ب) تفرع الأرض على طول صدع سوير ستيشان هيلز اليمينى الجانبى، فى زلزال ١٦ نوفمبر ١٩٨٧. انظر إلى التدرج اليسار والارتفاع عند الثنية.



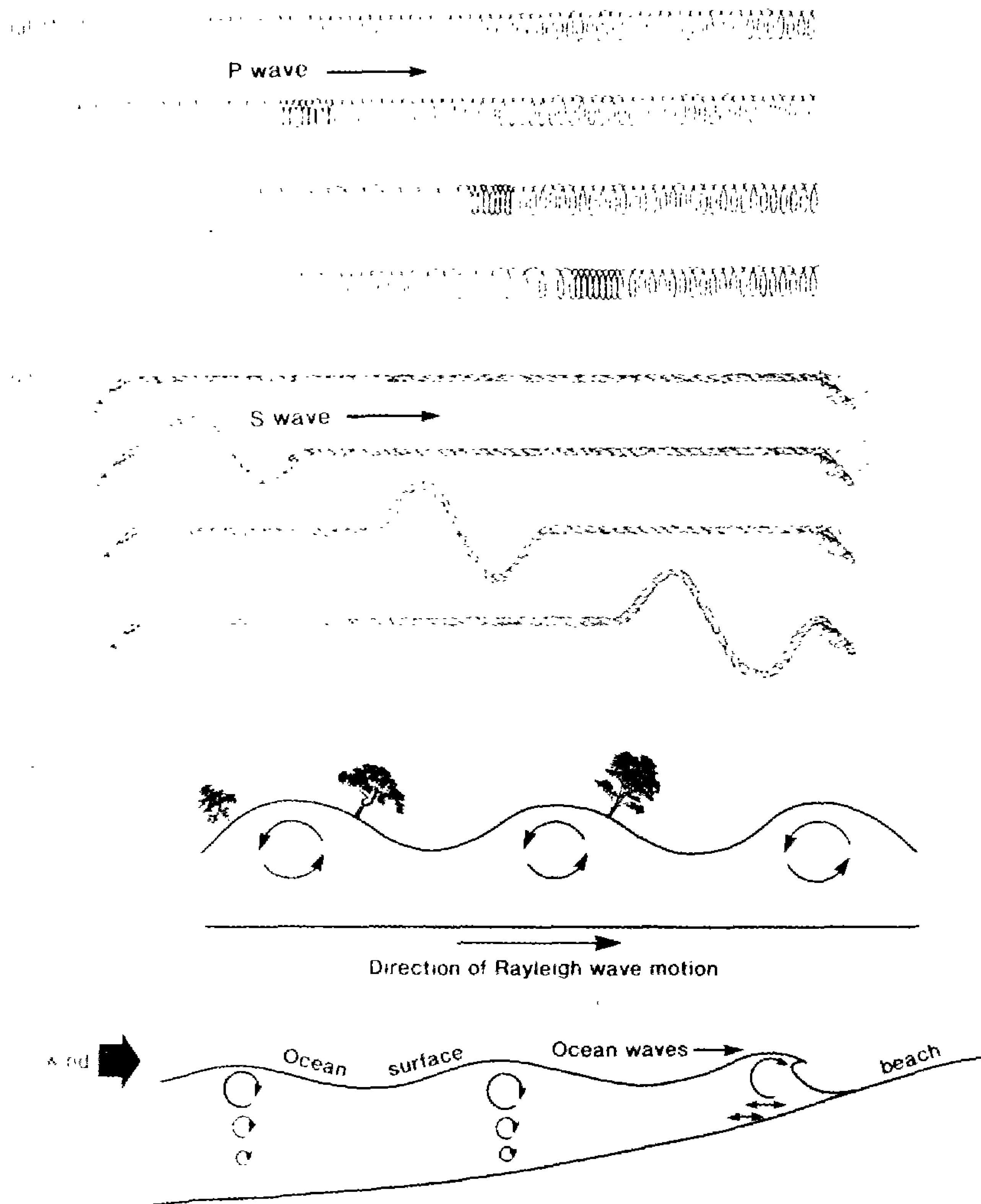
الشكل (١٤-٣) (أ) تدرج يميني في صدع يميني جانبي. لاحظ أن الأرض تتباعد عن بعضها البعض عند ثنية الصدع عندما يتحرك الصدع. وتشكل الحركة ثقباً يمكن أن يصبح حوضاً إذا ظل الصدع نشيطاً لفترة زمنية جيولوجية. (ب) تفرع الأرض على طول صدع سورر ستيشان هيلز اليميني الجانبي، في تمزق ١٩٨٧. انظر التدرج لليمين والتباعد عند الثنية.



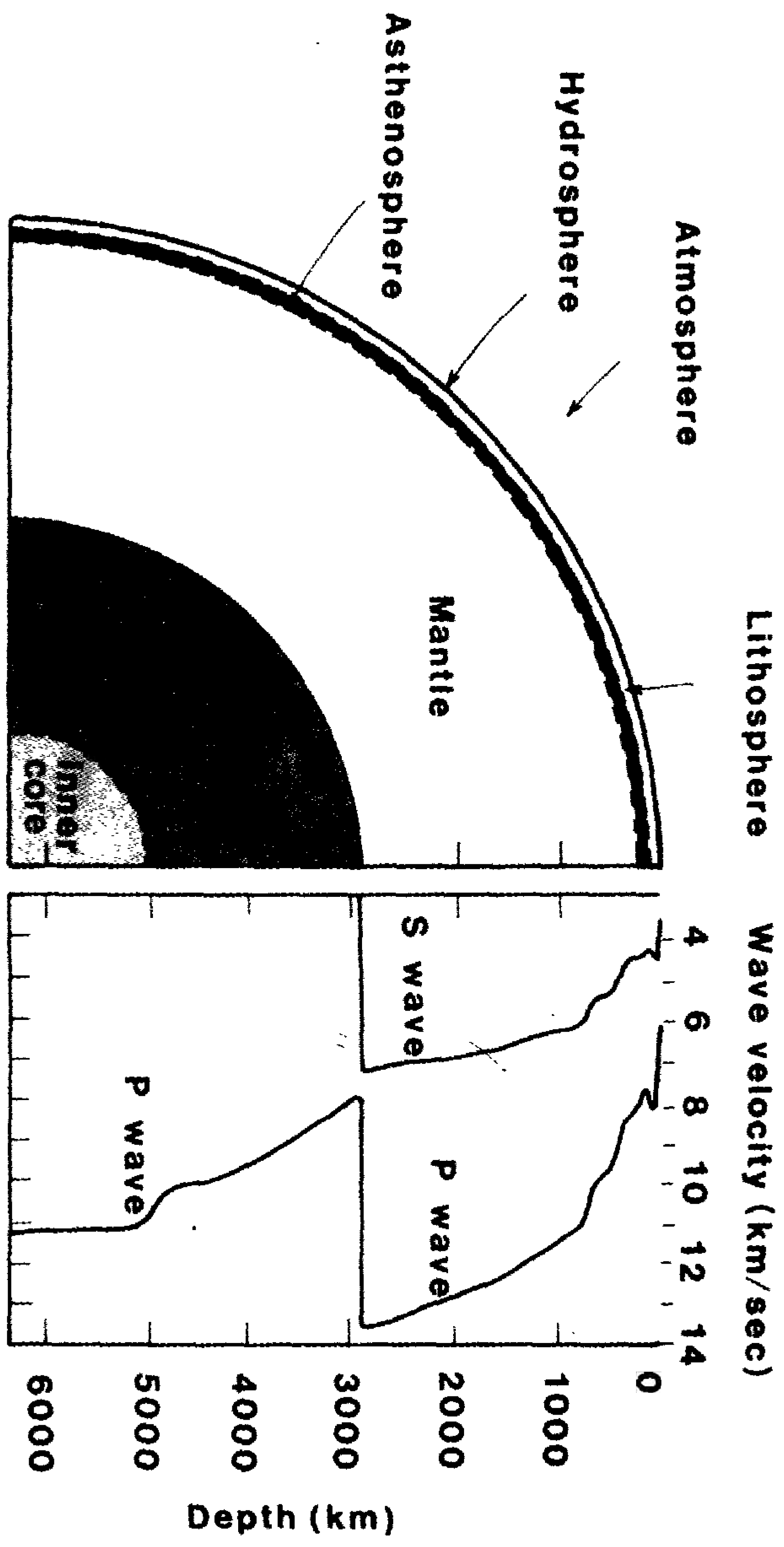
الشكل (١٥-٣) نموذج للصدوع التحويلية في الألواح التكتونية. لاحظ أن الصدع التحويلي يصل مركزي الانتشار المنفصلين؛ وأن قاع البحر هنا يتحرك في اتجاهين متعاكسين. وبعد مراكز الانتشار يتحرك اللوحان في نفس الاتجاه وينفصلان في منطقة الكسر؛ حيث لا توجد صدوع تحويلية هنا.



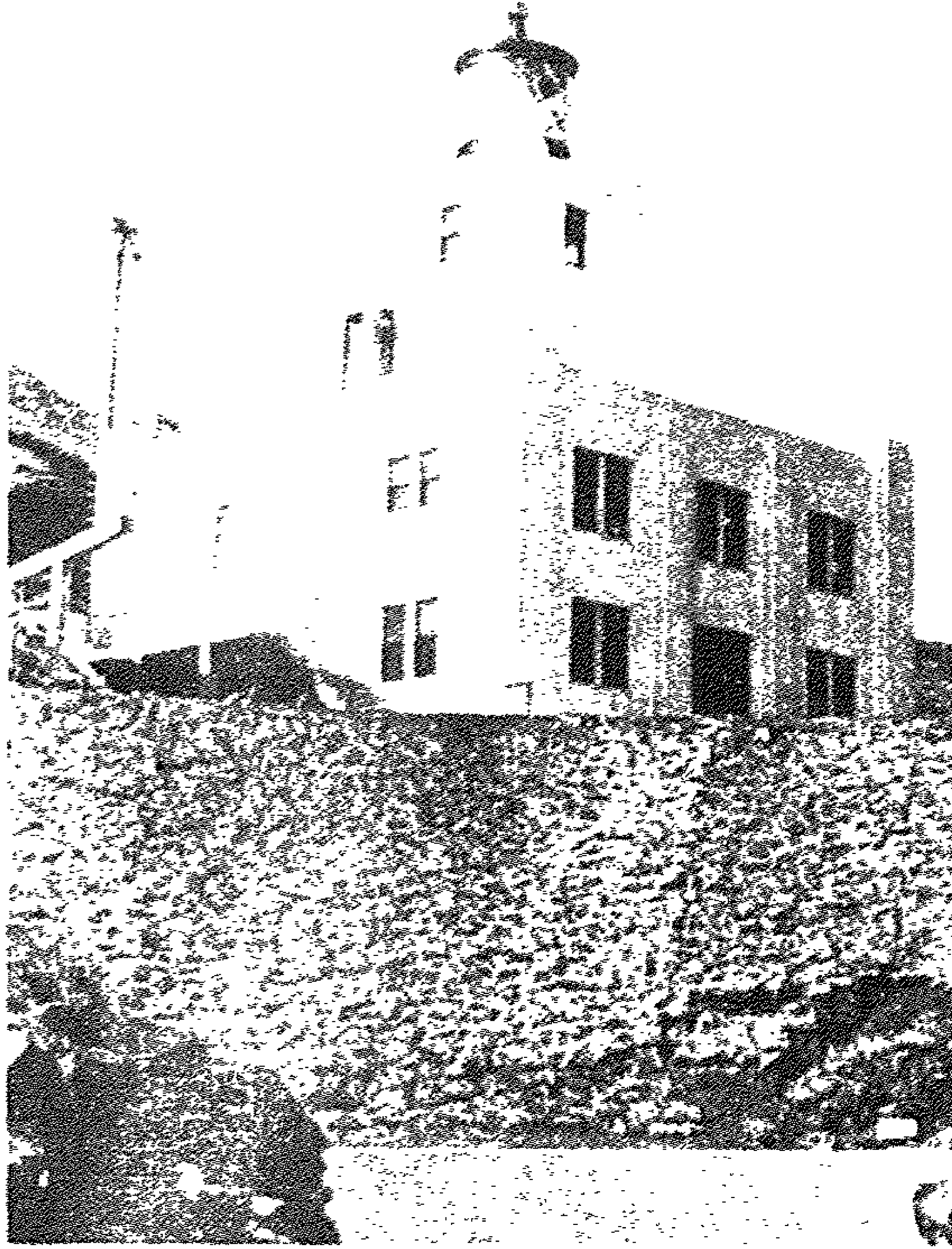
الشكل (١٦-٣) مسجل زلازل مبسط. تتحرك الأرض، ويتحرك إطار السجل، ويتذبذب سلك التعليق، ولكن الكتلة الثقيلة المعلقة والقلم المثبت تحتها يظلان ثابتين نسبياً. والشئ المثالي أن يظل القلم ثابتاً بينما تتحرك الأرض تحته ليرسم خطاً بالحبر.



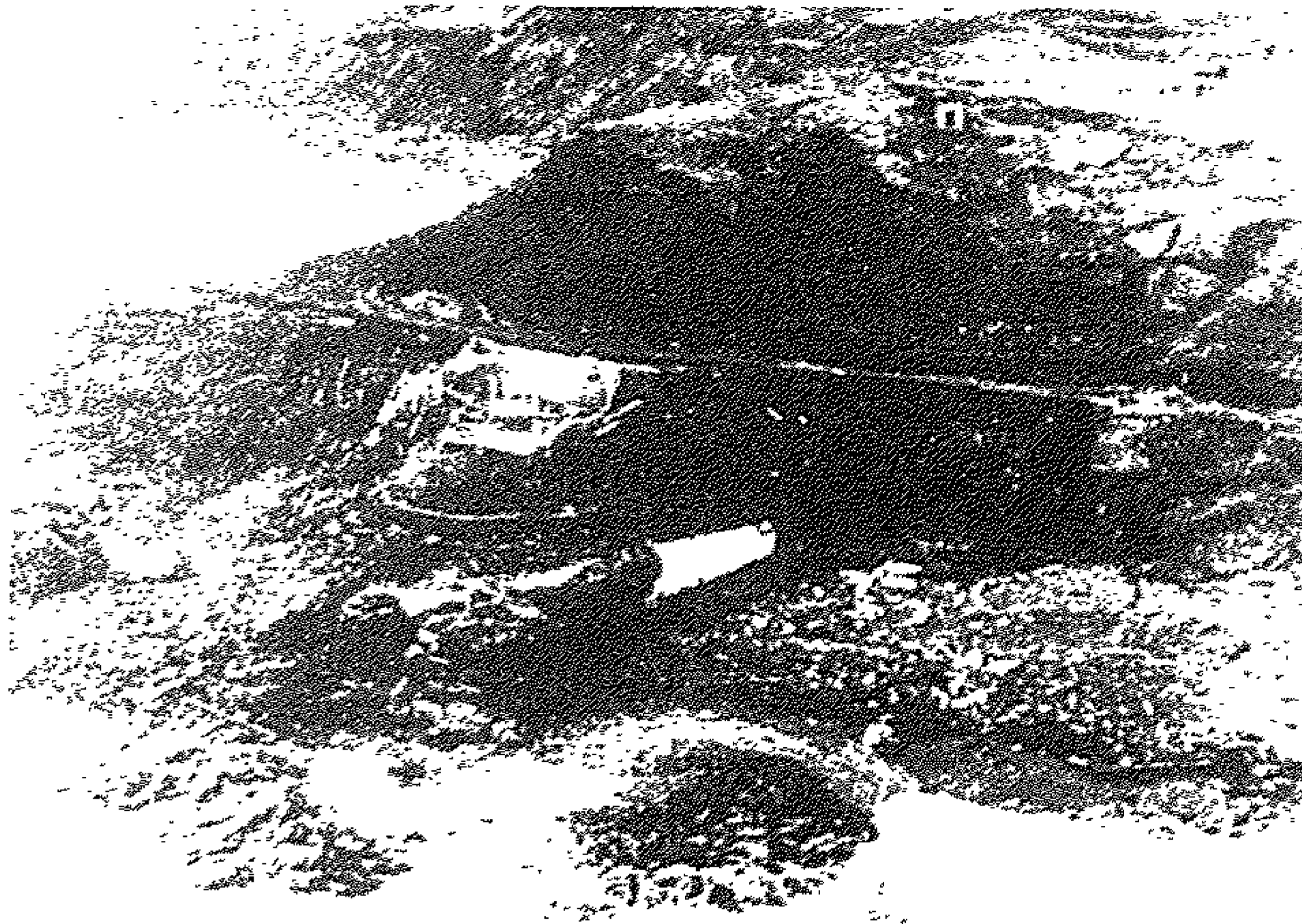
الشكل (١٧-٢) نماذج للموجات الزلزالية. (أ) تتحرك الموجات الابتدائية في حركة ضغط - سحب مثل لعبة اليويو. (ب) تتحرك الموجات الثانوية إلى أعلى وإلى أسفل حركة عمودية على اتجاه التقدم، مثل حبل القفز. (ج) تتقدم موجات رايلي في حركة دوران تراجمي بعكس (د) موجات المحيط التي تدفعها الرياح التي تؤدي إلى حركة دوران أمامي.



الشكل (٣-١٨) يساعد اختلاف سرعة الموجات الابتدائية عن الموجات الثانوية في تحديد البناء الداخلي للأرض.



(a)

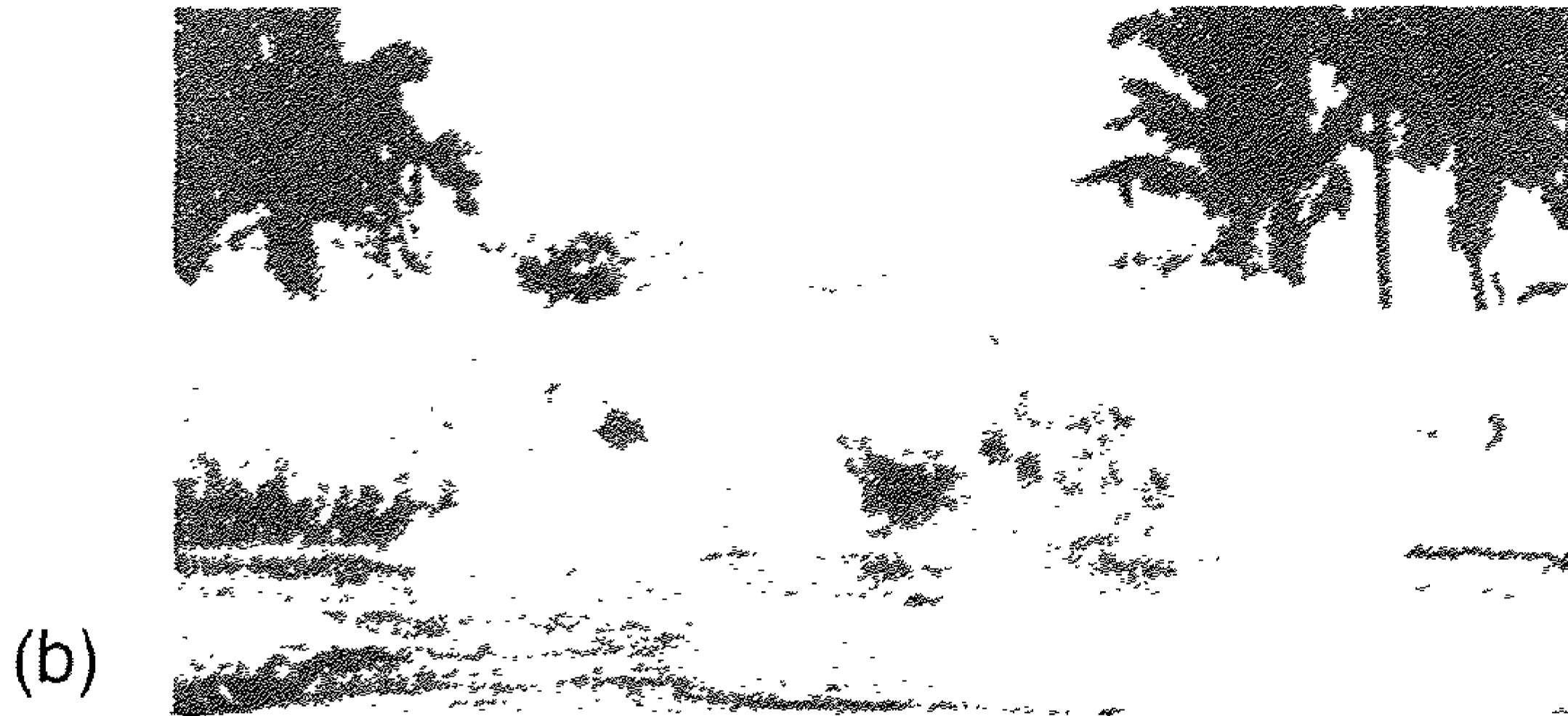
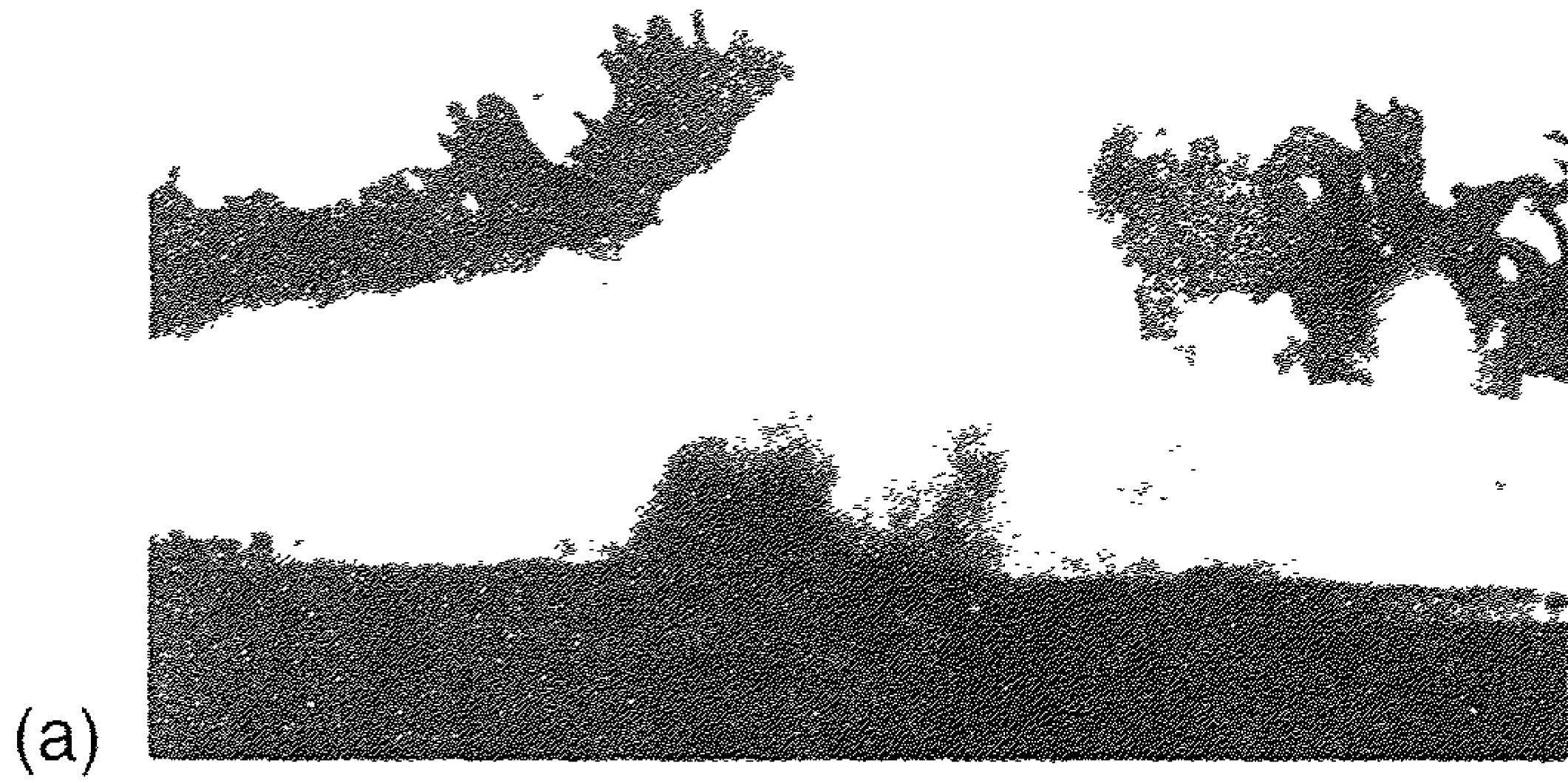


(b)

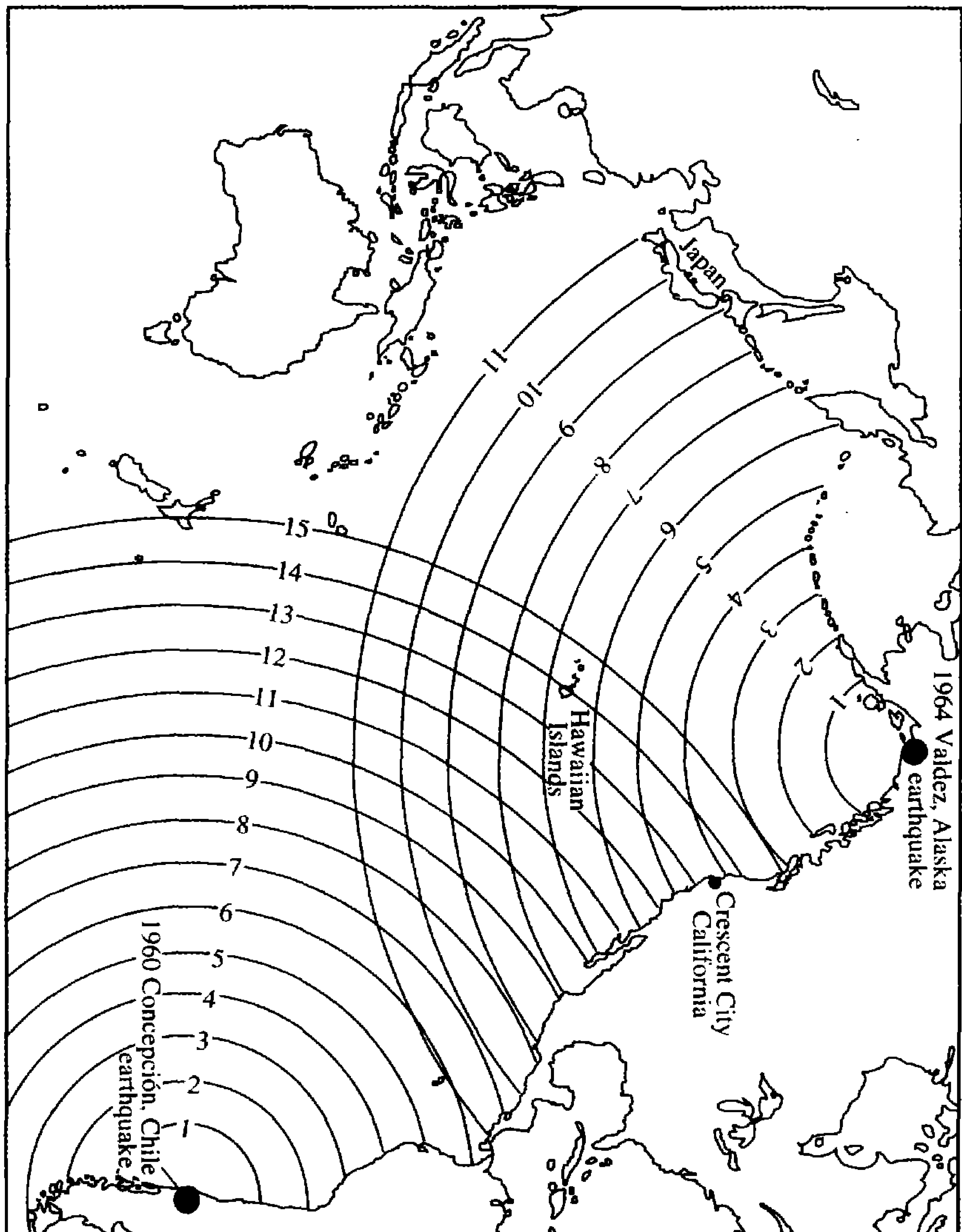
الشكل (٣-١٩) فنانة الفجوة الإسكتلندية في جزر ألوشان في ألاسكا (أ) قبل و(ب) بعد حدوث الموجات السنامية التي أطلقها زلزال ١ أبريل ١٩٤٦ بقوة ٧,٣ .



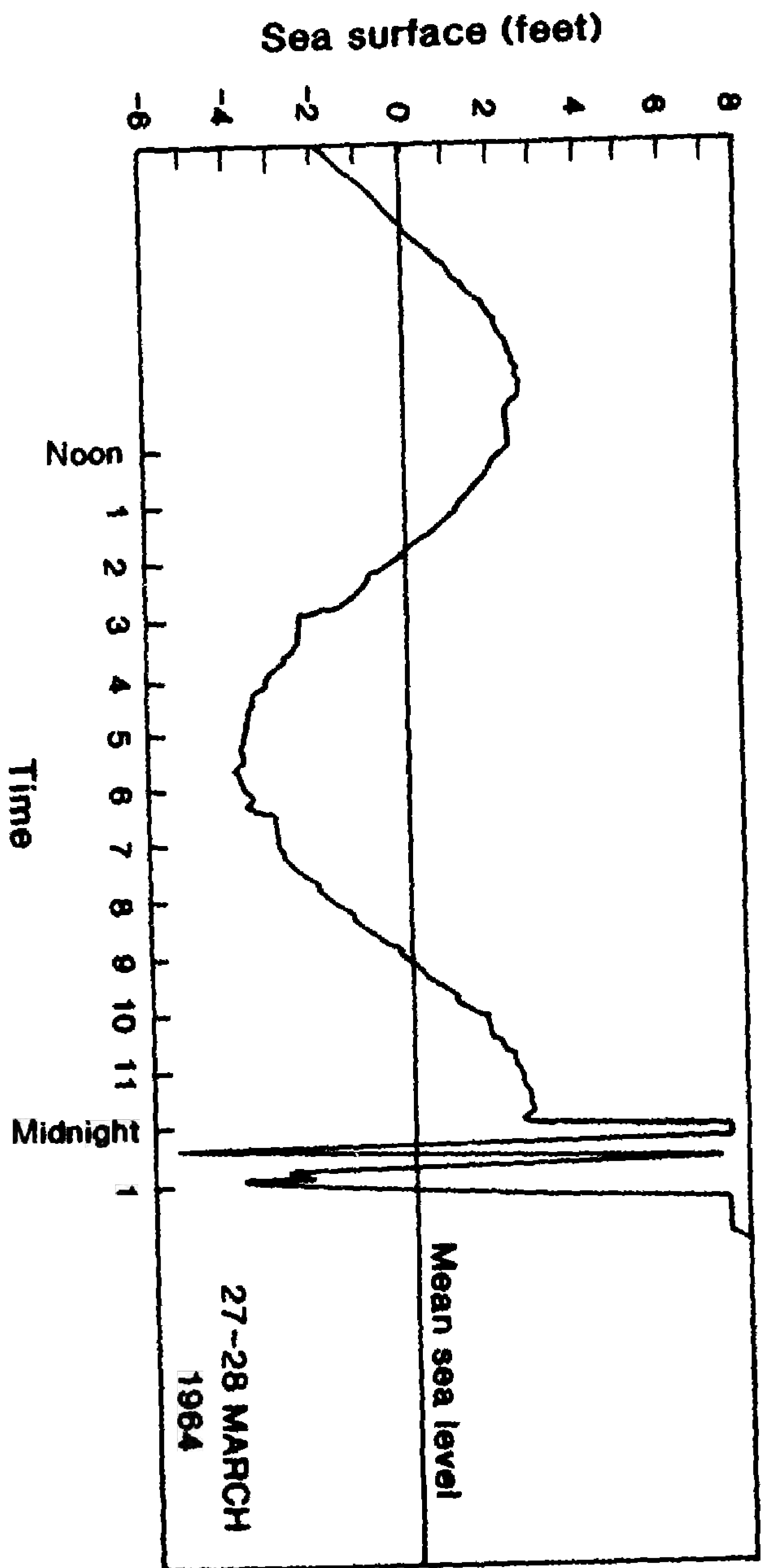
الشكل (٢٠-٣) الموجات السنّامية وقد حطمت بيرا في هيلو بهاواي في ١ أبريل ١٩٤٦. قُتلَ الرجل الذي تشاهده في مقدمة الصورة، ضمن ١٥٩ قتيلا.



الشكل (٢١-٣) الموجات السنّامية تندفع إلى الشاطئ شرقى هيلو في هاواي في ١ أبريل ١٩٤٦.



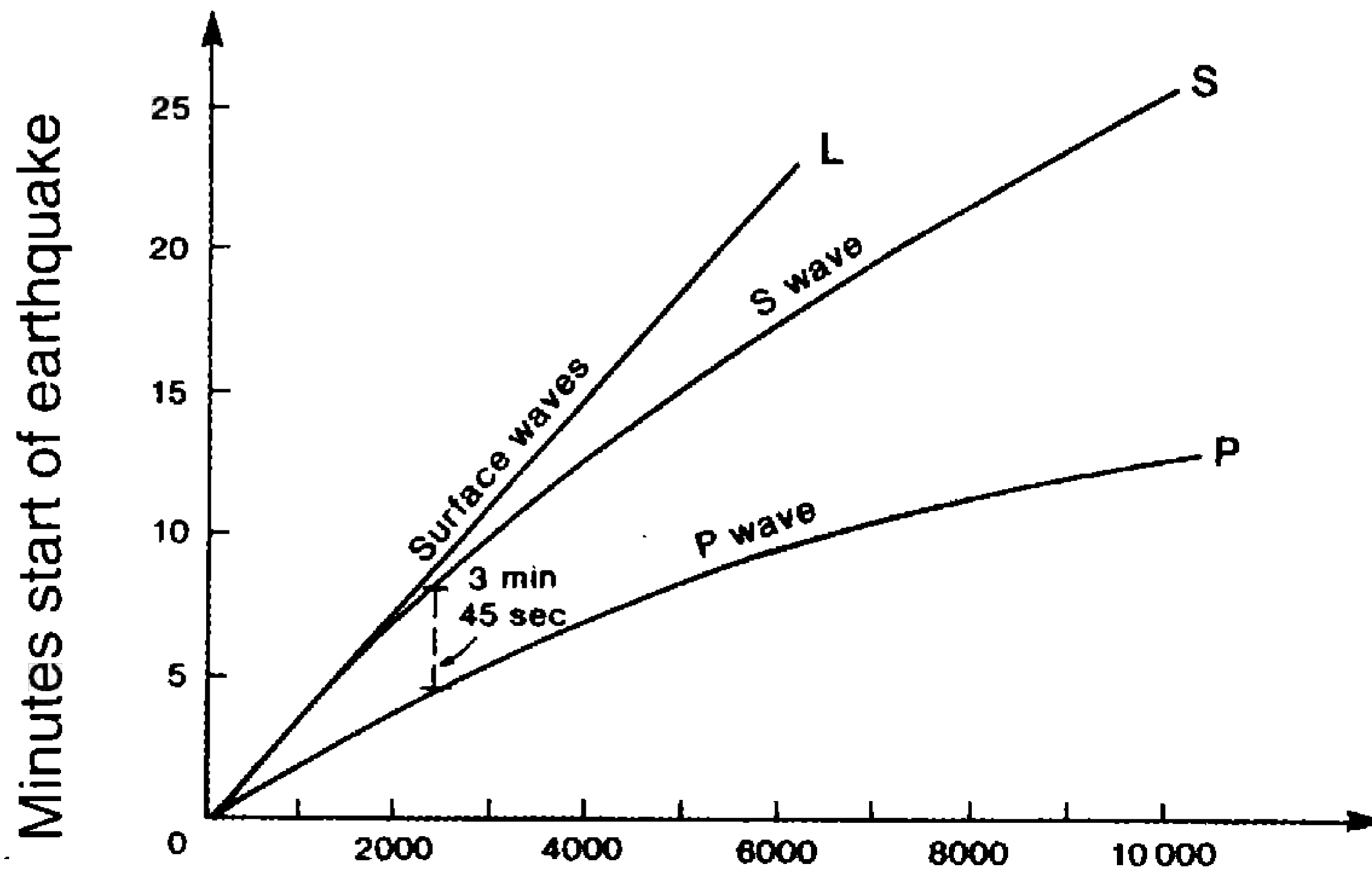
الشكل (٢-٢٣) زمن مرور الموجات السطحية إلى هاواي بالساعات.



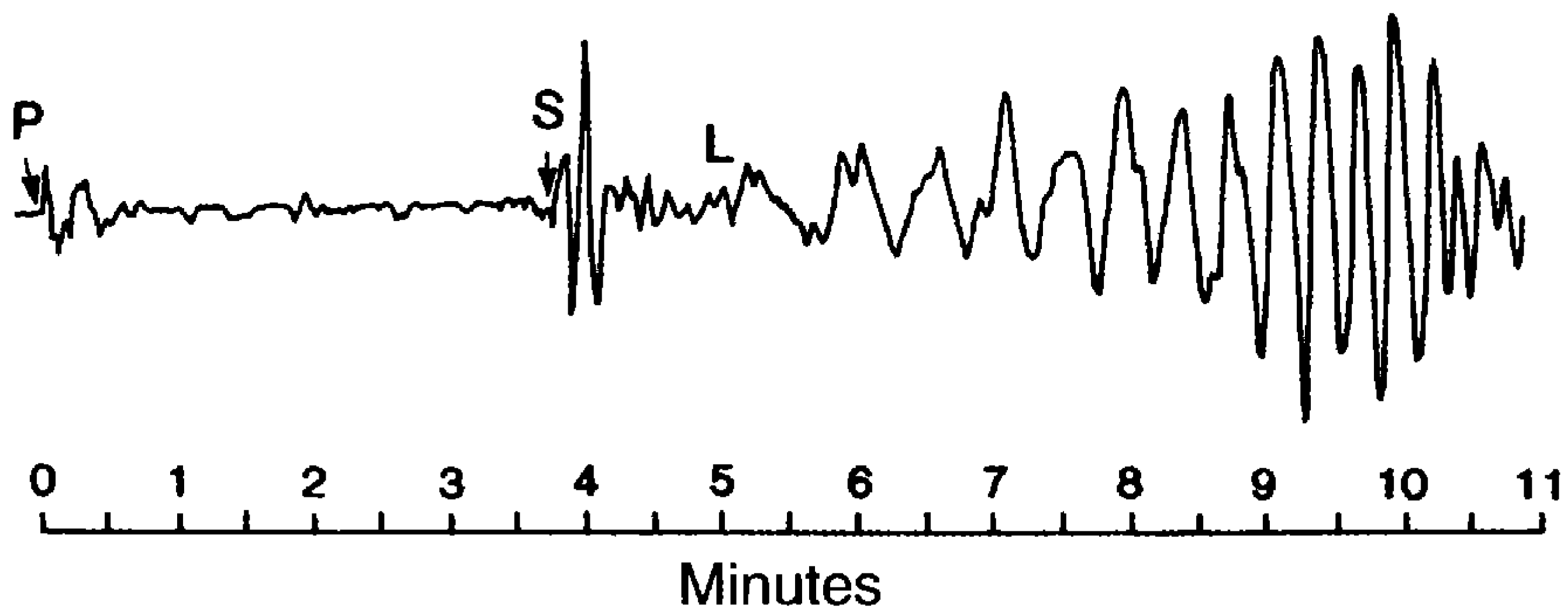
الشكل (٢٤-٢) سجل مقياس المد عند كريست سیتی فی كاليفورنيا، فی جزء من ٢٧ - ٢٨ مارس ١٩٦٤. فلك السنامی والجزر السنامی مؤکدان.



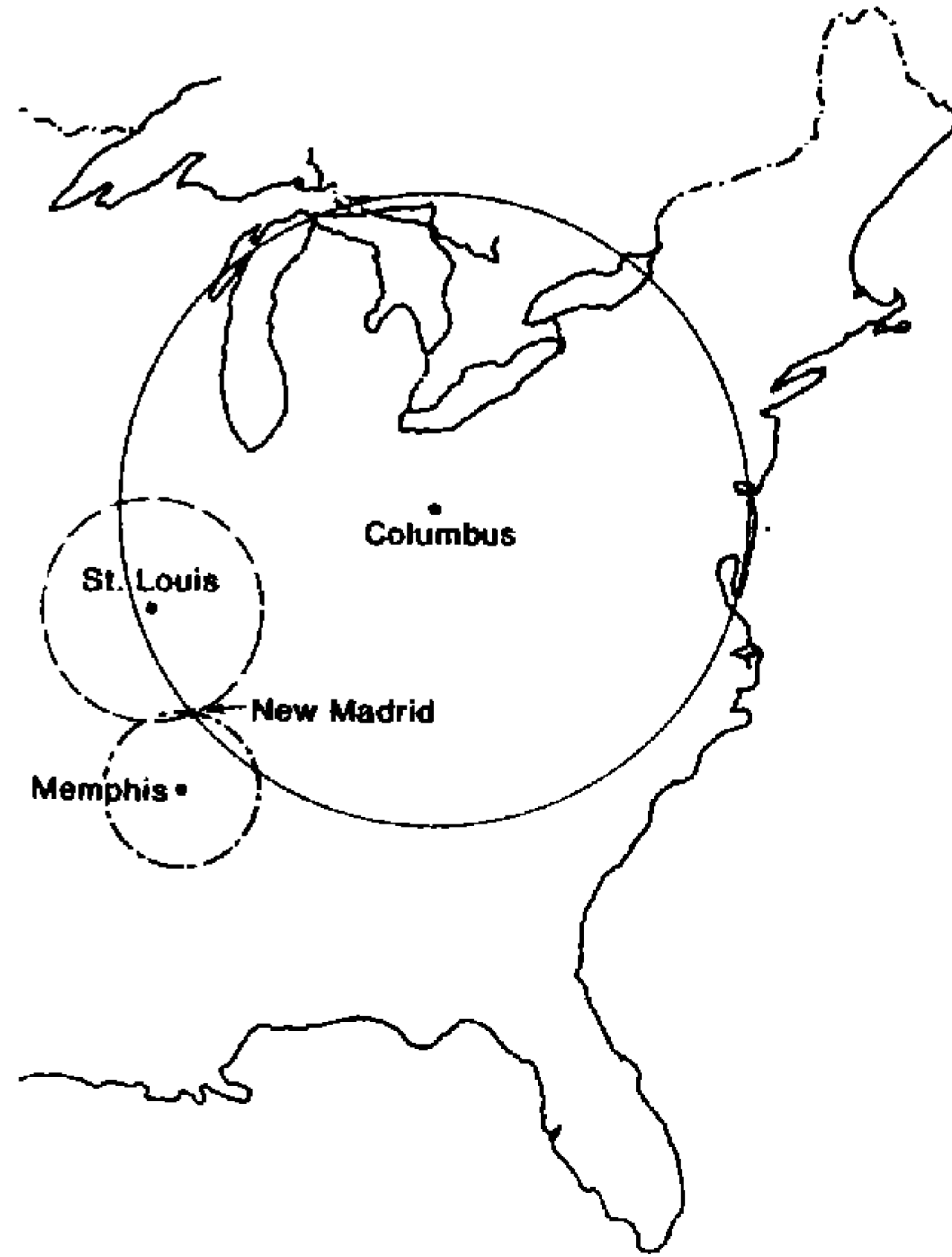
الشكل (٢-٢٥) القرى التي اجتاحتها الموجات السنامية من الحاجز الرمل إلى بحيرة سيسانو وغرق فيها ٢٢٠ نسمة في يوم ١٧ يوليو ١٩٩٨. فهل هذا الحاجز الرملى يذكرك بساحل نيوجيرسى فى شمالي كارولينا أو بجزيرة بولوا فى جنوبى كاليفورنيا أو بمواقع أخرى؟



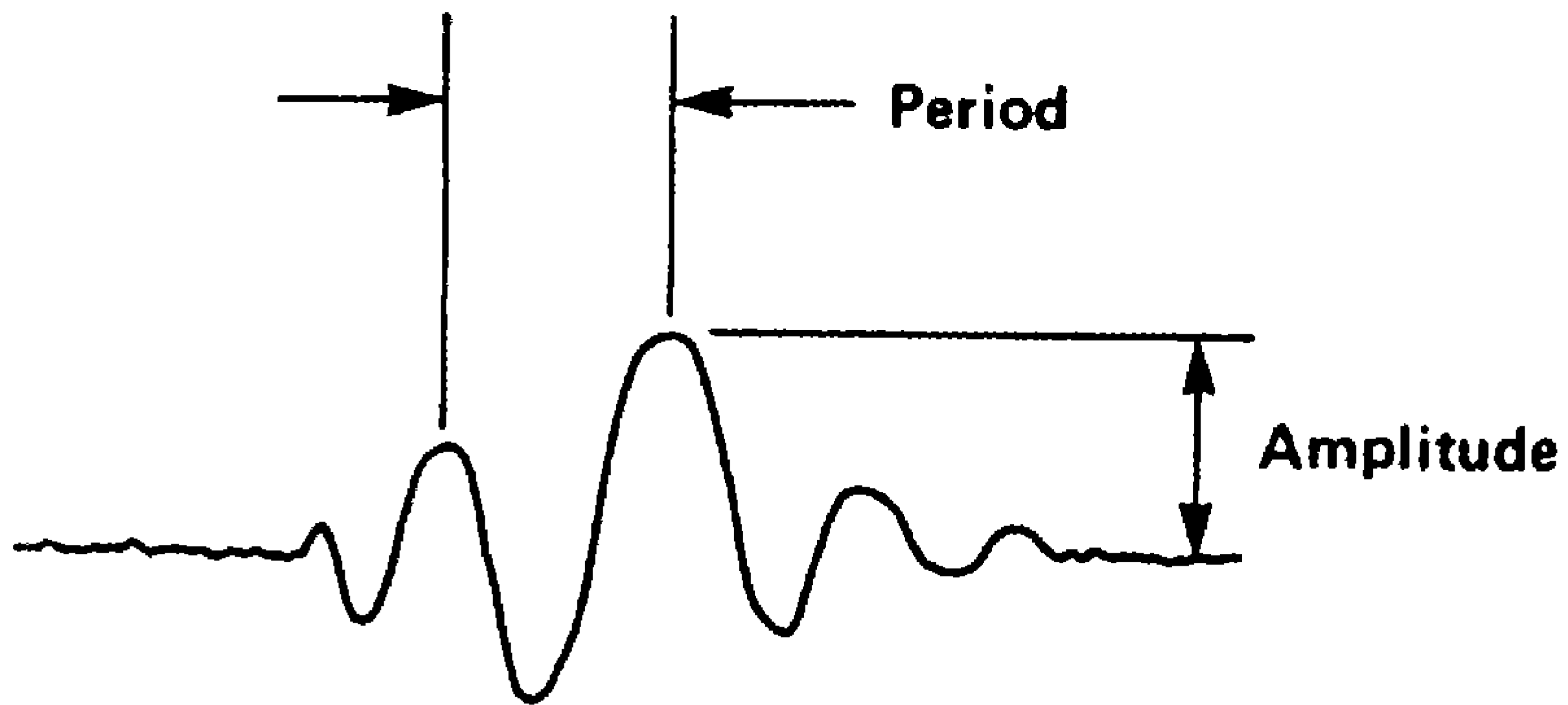
الشكل (٢٦-٣) توقع زمن مرور الموجات الزلزالية مقابل المسافة. لاحظ أن اختلاف زمن وصول الموجات الابتدائية والموجات الثانوية وهو ٣ دقائق و٤٥ ثانية في الشكل (٢٧-٣) يماثل المسافة ٢.٢٥٠ كم تقريبا.



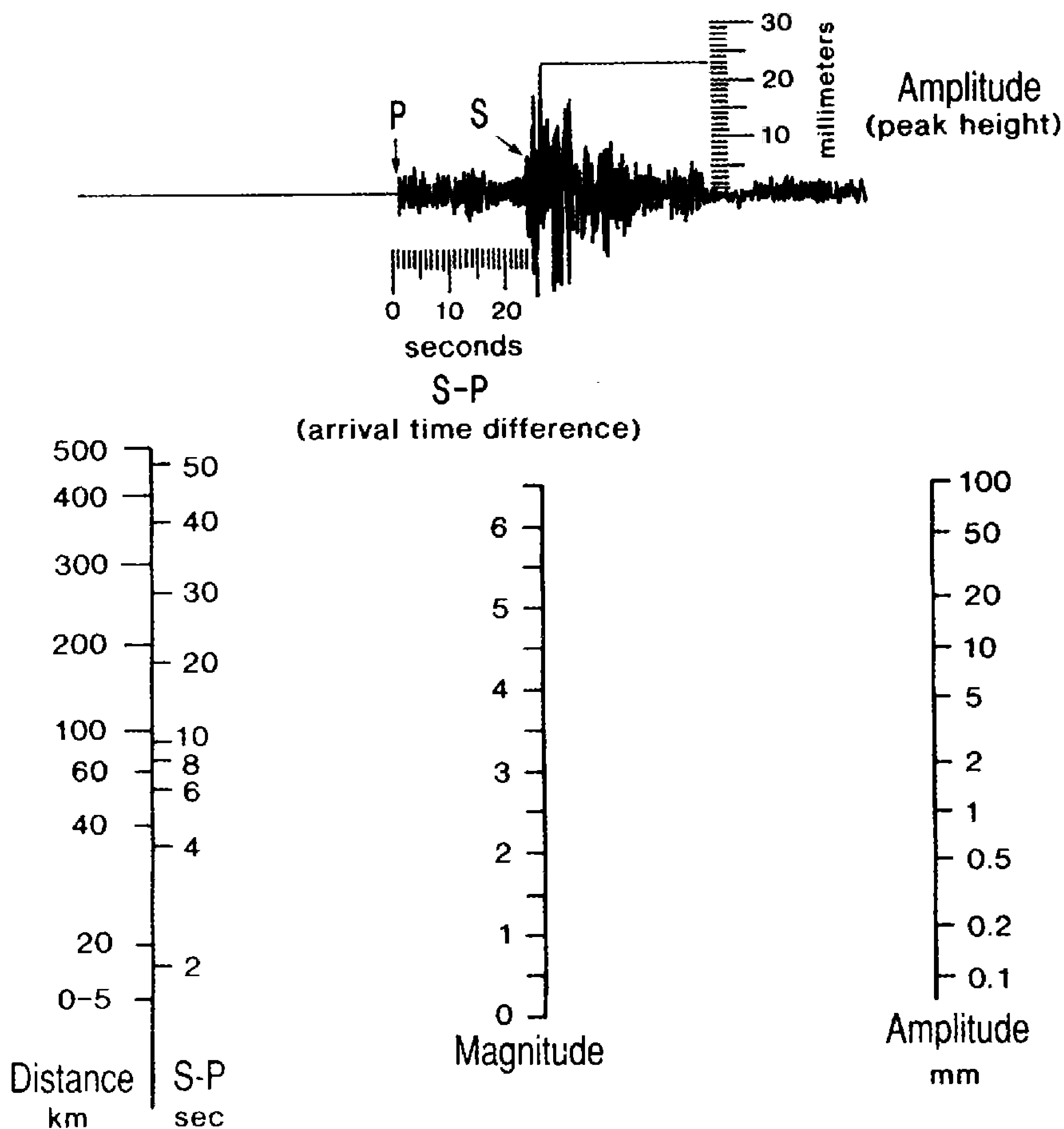
الشكل (٢٧-٣) الرسم الزلزالي الذي سجلته روسيا في عام ١٩٠٩ لزلزال آسيا الصغرى. ولاحظ أن الفرق في وصول الموجات الابتدائية والموجات الثانوية (ث-أ) هو ٣ دقائق و٤٥ ثانية.



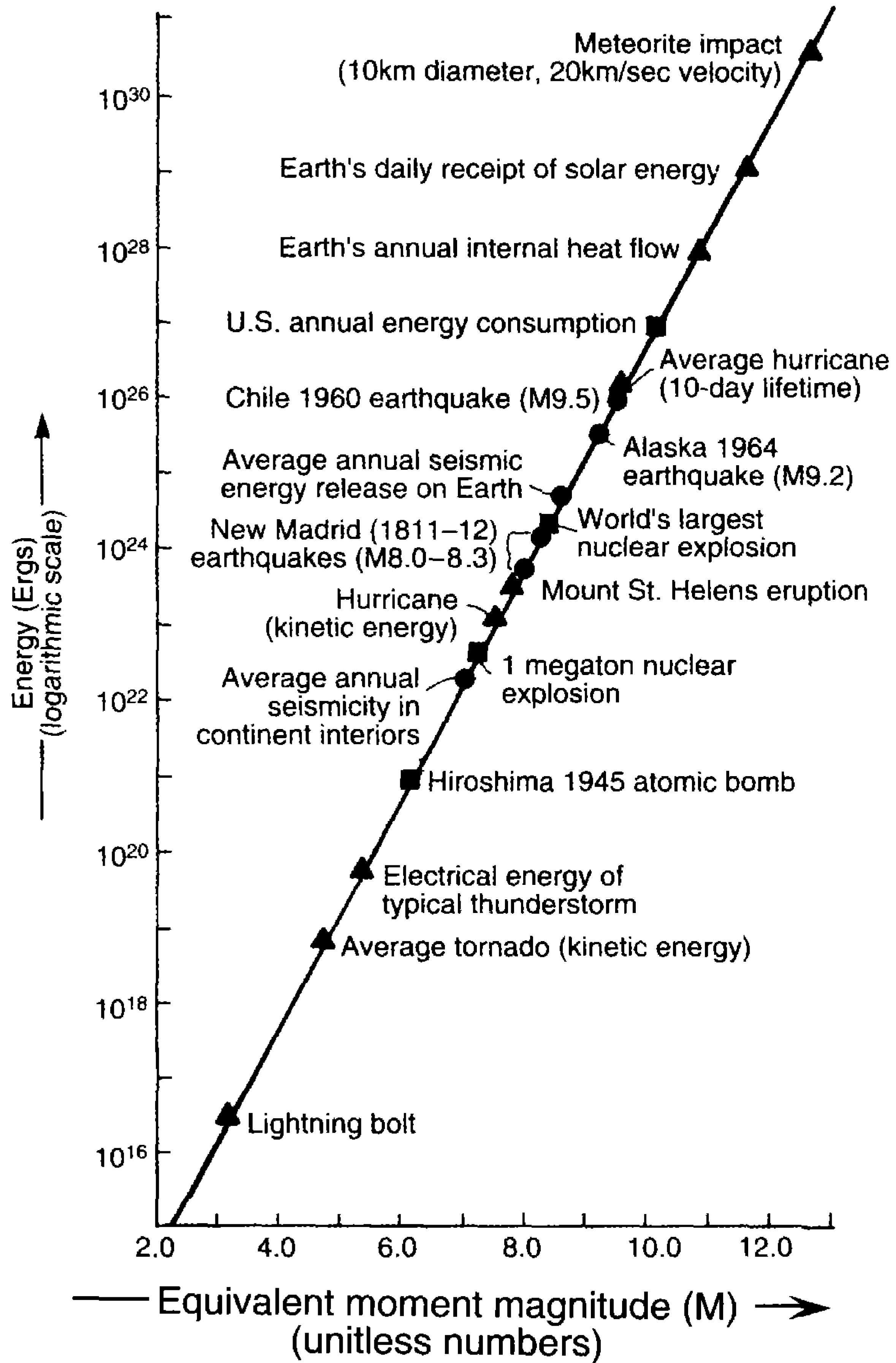
الشكل (٢٨-٣) تحديد موقع المركز السطحي لزلزال. وتعطينا حسابات الفرق بين زمن وصول الموجات الابتدائية والموجات الثانوية (ث-أ) دائرة نصف قطرها ١٦٤ كم من ممفيس و٢٣٦ كم من سان لويس و٦٦٤ كم من كولومباس. وتتقاطع الدوائر بهذه المقادير في نقطة فريدة عند مدريد في ميسوري - هي المركز السطحي.



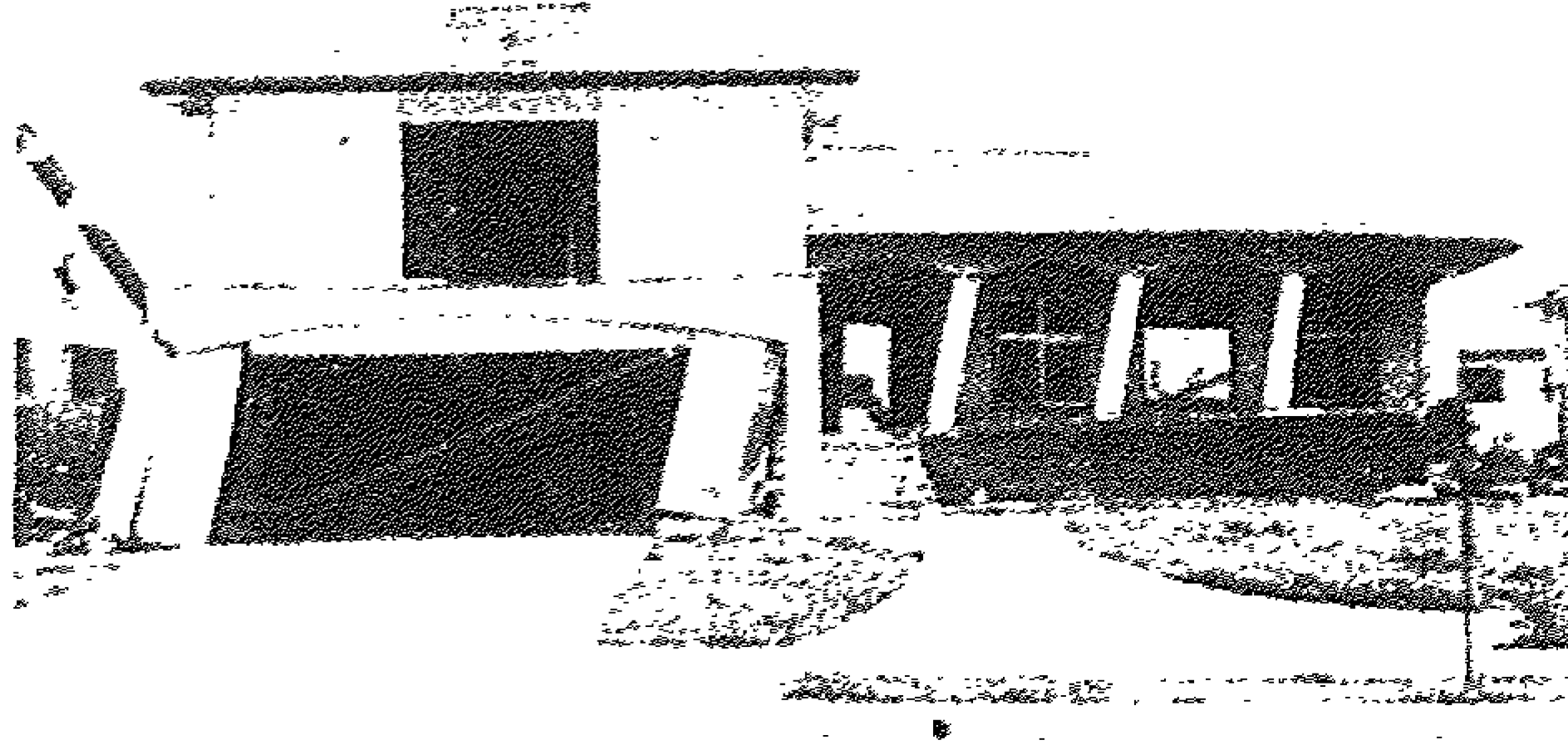
الشكل (٢٩-٣) أثر الموجة الزلزالية. والمدى (الفترة الزمنية) هو زمن مرور دورة موجة واحدة في الثانية. والسعة هي ارتفاع الأثر (الخط) المحبر أعلى نقطة البدء.



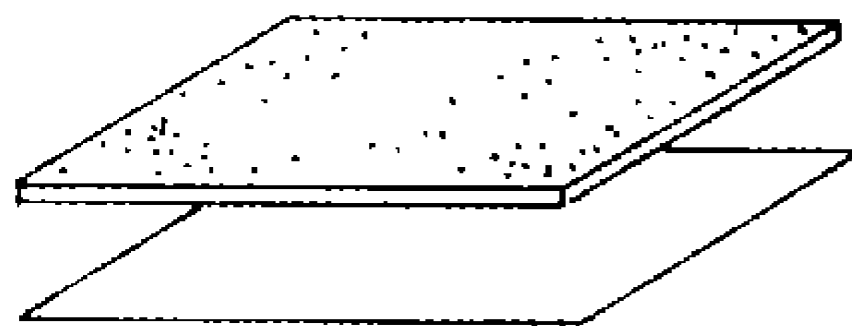
الشكل (٣-٣٠) مخطط بياني على مقياس ريختر لتقدير قوة الزلازل. اقرأ الفرق بين زمن وصول الموجات الابتدائية والموجات الثانوية على الرسم الزلزالي ثم وقّع قيمته على العمود الأيسر من المخطط البياني. ثم اقرأ سعة ارتفاع القمة للموجة الثانوية ووقّع قيمتها على العمود الأيمن. ارسم خطاً بين القيمتين المعلمتين ليمر بالعمود الأوسط الذي يوضح قوة الزلازل.



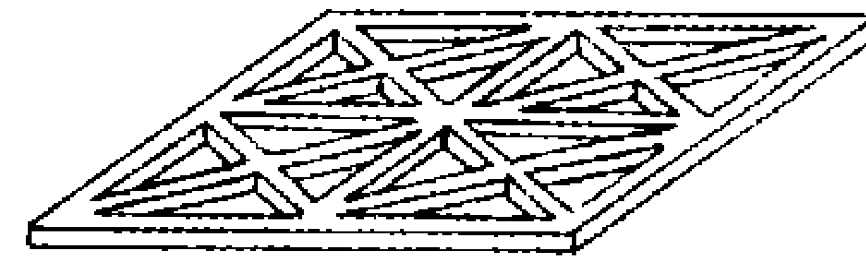
الشكل (٣-٢١) مكافئ عزم القوة لمختلف الزلازل (النقط المستديرة) ومن صنع الإنسان (النقط المربعة) وظواهر أخرى (النقط المثلثة).



الشكل (٣-٢٢) انهيار منزل غير مدعم بالقدر الكافي نظرا للتسارع الأفقي أثناء زلزال سان فيرناندو في ١٩٧١.

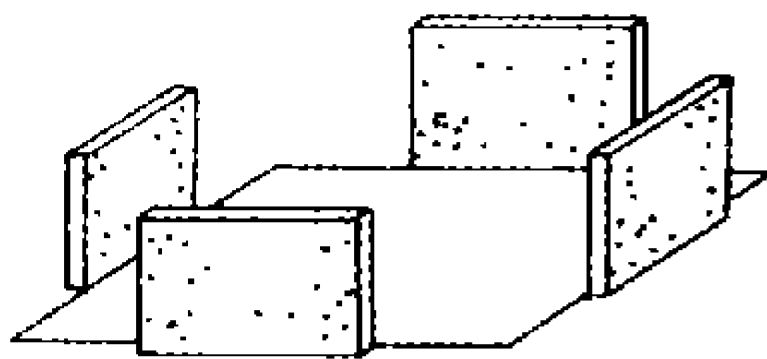


Floor or roof

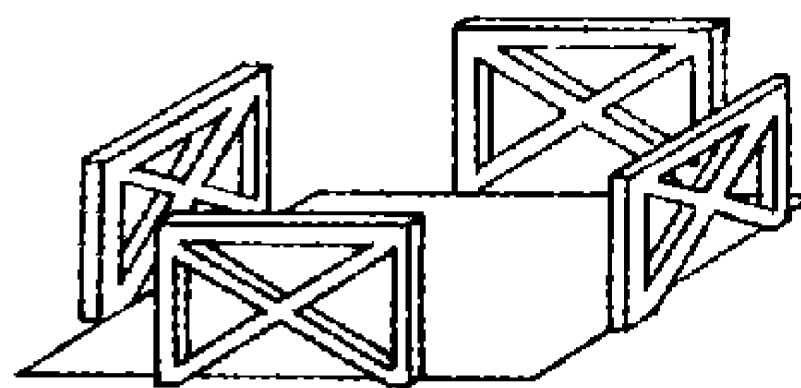


Truss

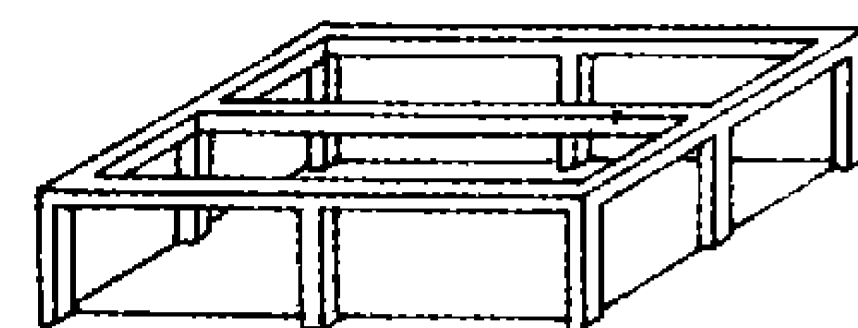
Horizontal elements



Shear walls

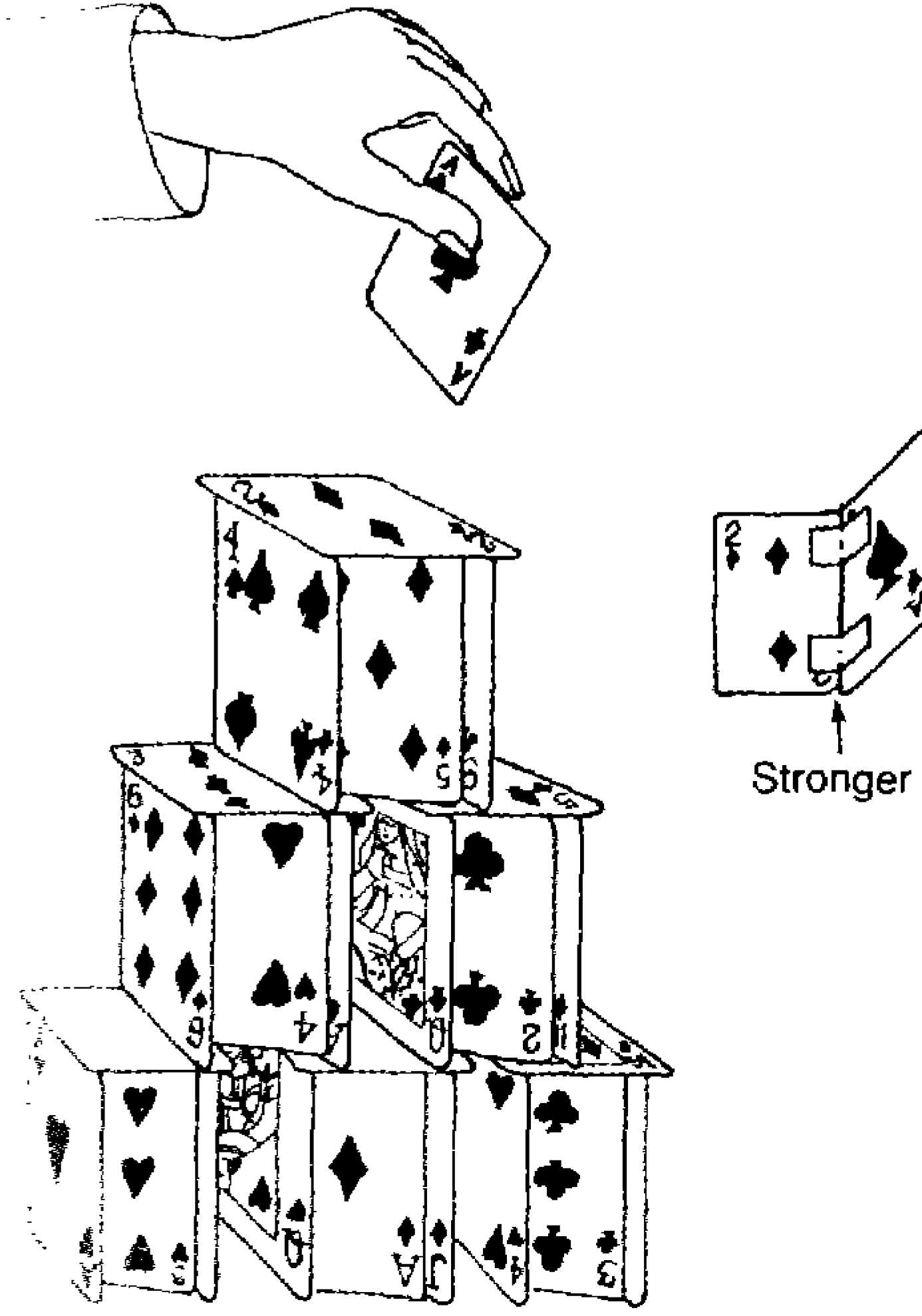


Braced frames
Vertical elements



Moment-resisting frame

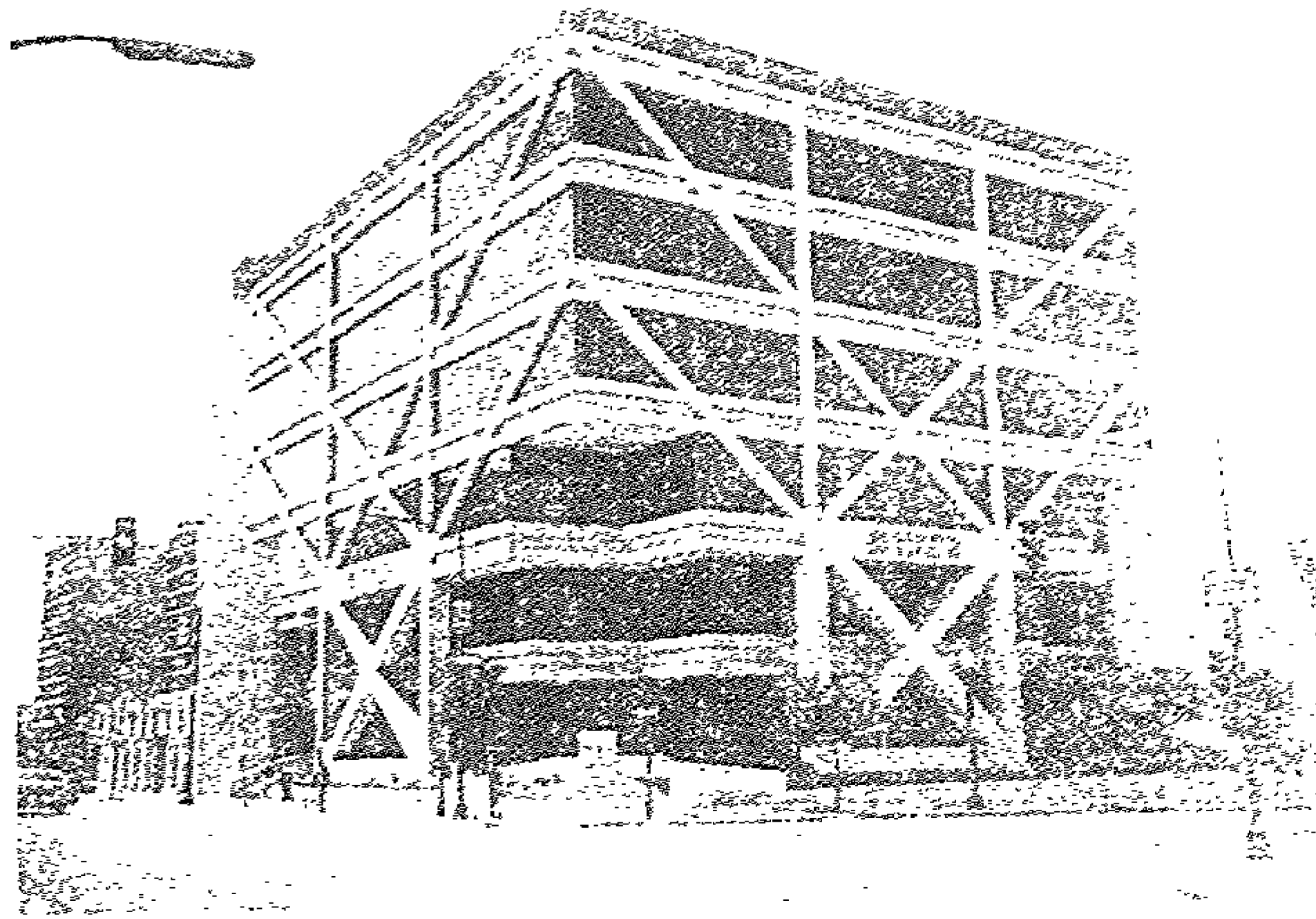
الشكل (٣-٢٣) مكونات المبنى المقاومة للزلازل.



الشكل (٣-٣٤) «منزل من أوراق اللعب» على شكل بناء من حوائط الحمل. وتزيد كثيرا مقاومة البناء للزلازل عند ربط الحوائط بعضها ببعض.



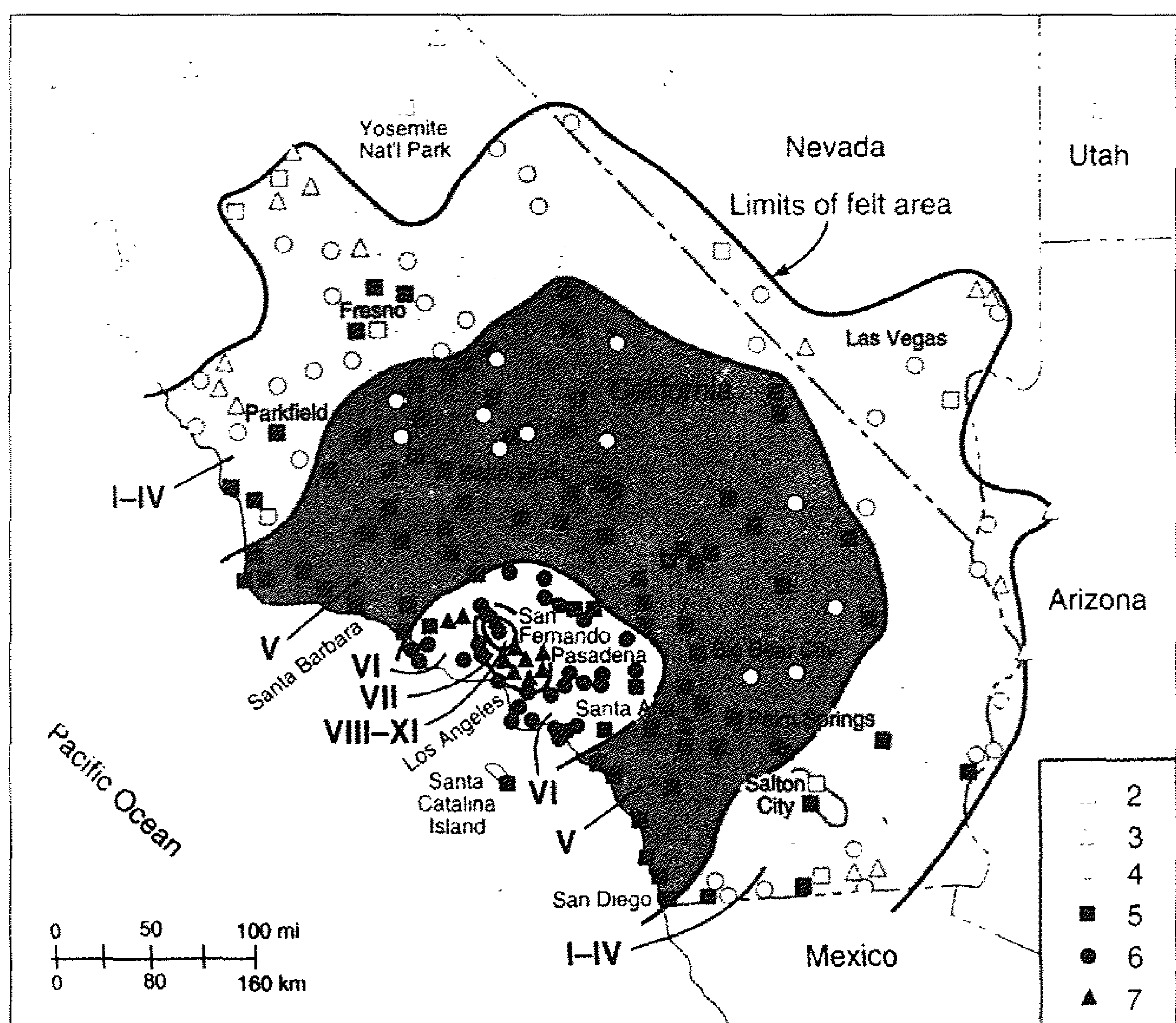
الشكل (٣-٣٥) انهار بناء لمواقف السيارات في جامعة ولاية كاليفورنيا في نورثريدج أثناء زلزال ١٧ يناير ١٩٩٤. وكان البناء مبنيا ليسع ٢,٥٠٠ سيارة في عام ١٩٩١ وتكلف ١١,٥ مليون دولار.



الشكل (٣-٢٦) بناء يتكون من ستة طوابق من الإطارات المدعمة مندمجة في تصميمه.

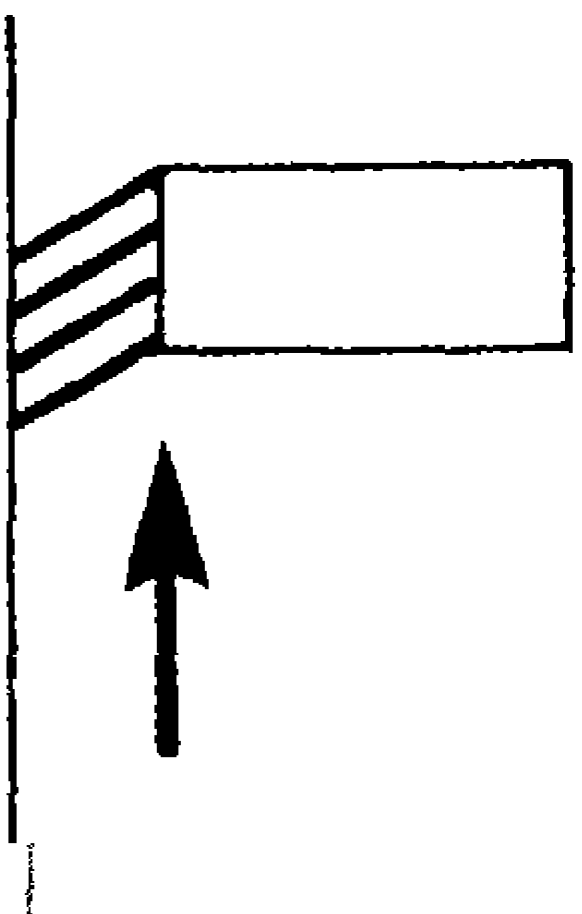
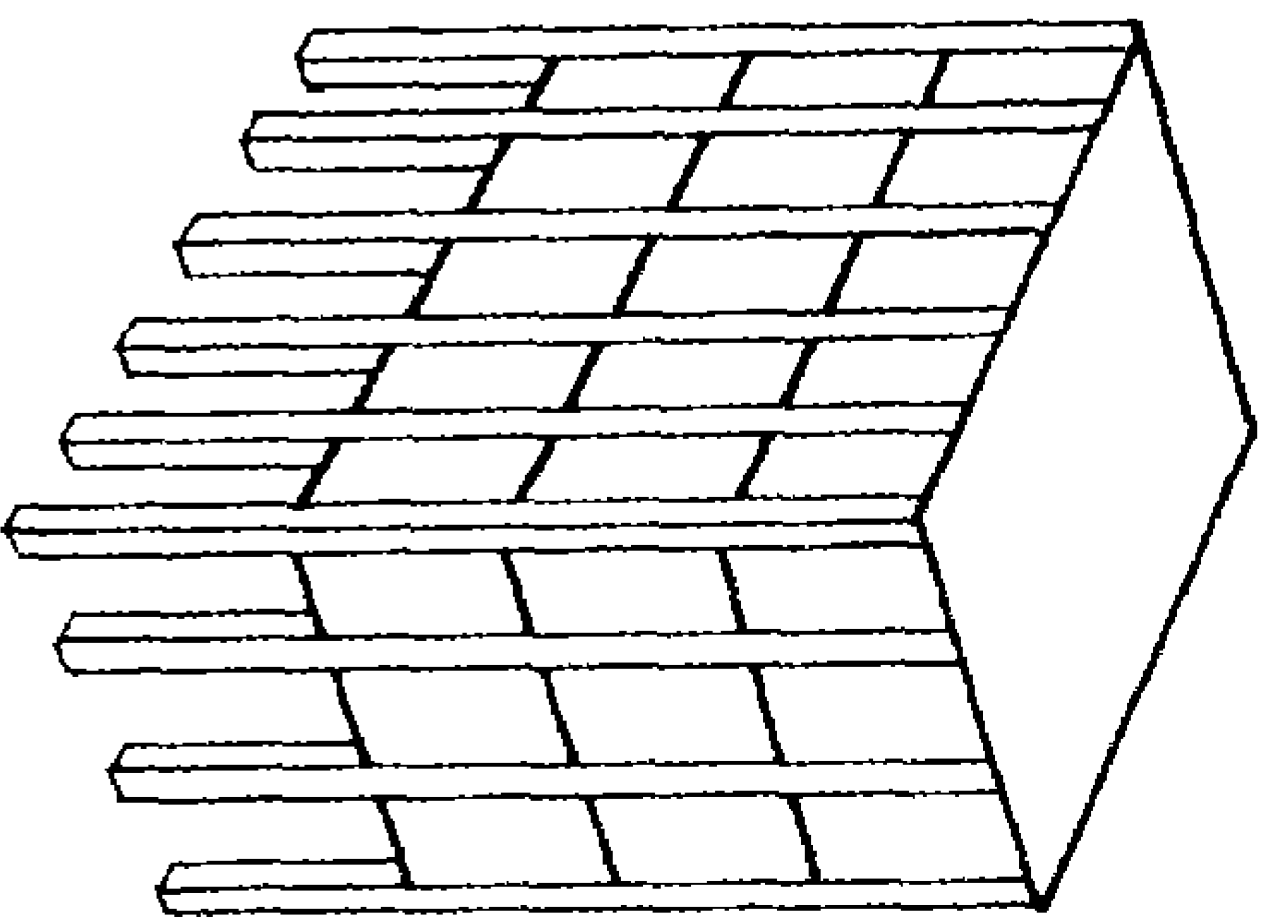


الشكل (٣-٣٧) مكتب التجهيزات المقاومة للكوارث في محافظة سان دييجو يشغل مبنى من طابقين مساحته ٧,٠٠٠ قدم^٢ مشيدا فوق ٢٠ دعامة من المطاط المخصب بالرصاص (عوازل الأساسات) تزن الواحدة طنا واحدا.



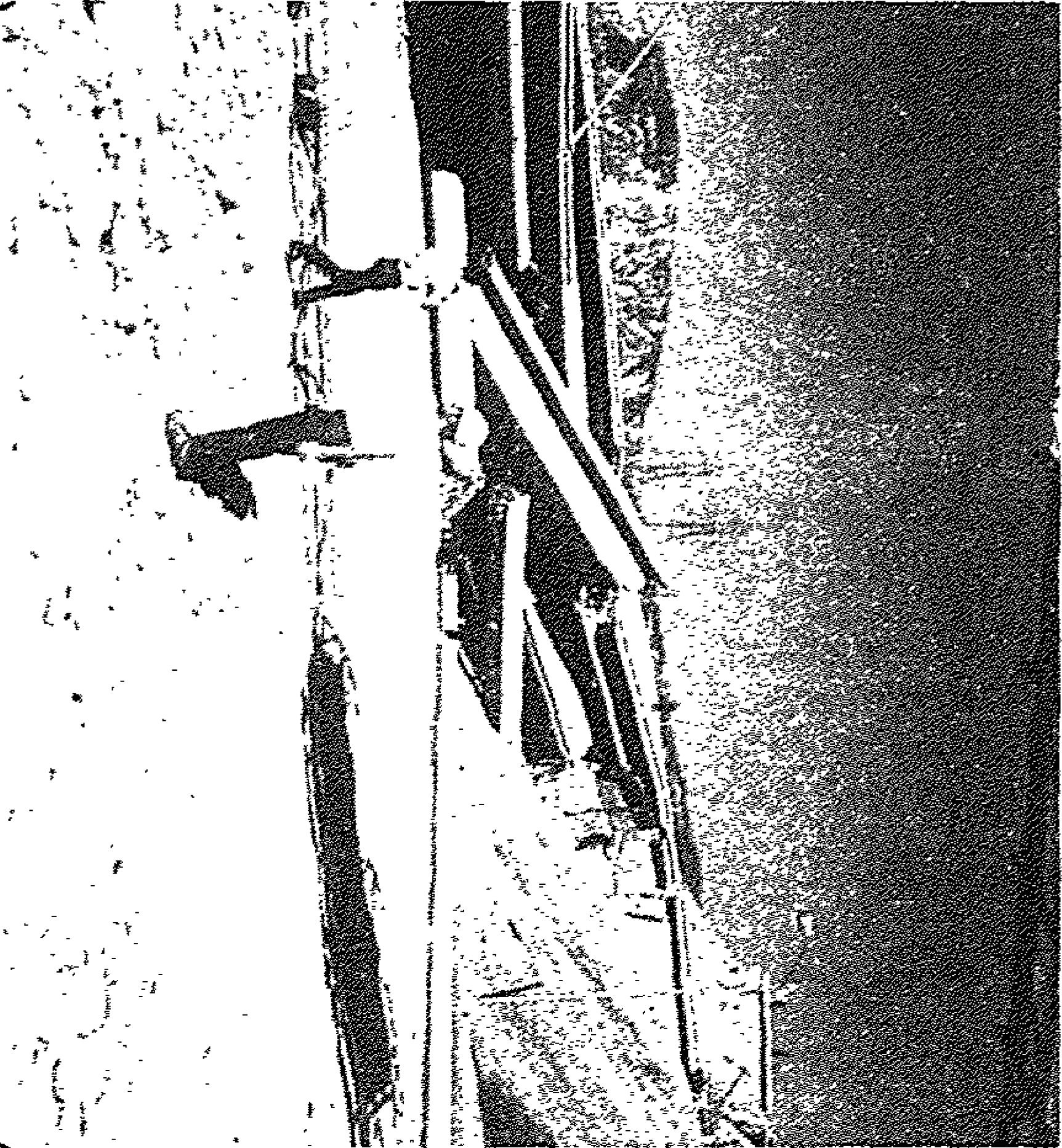
الشكل (٣-٢٨) خريطة كنتورية لشدة الزلازل بمقياس ميركالي لزلزال ٩ فبراير ١٩٧١ في سان فيرناندو توضح التناقص التدريجي في الشدة كلما ابتعدنا عن المركز السطحي.

(a)



(b)

الشكل (٢-٣٩) مبان ذات طوابق أرضية هشة، (أ) ليس فيها دعائم كافية للطابق الأول ولا حوائط حمل لتنتقل الأحمال الناجمة عن الاهتزاز إلى الأرض. ولهذا تركزت الإجهادات الزلزالية في الفواصل بين الطابقين الأول والثاني مسببة تحرك المبنى إلى الأجناب وتسطح الطابق الأول. (ب) وهذا هو أحد مباني المكاتب الطبية المكون من ثمانية طوابق مشيداً فوق طابق أول هش. ويقع في مدينة كاليفورنيا بالقرب من الصدوع النشطة.

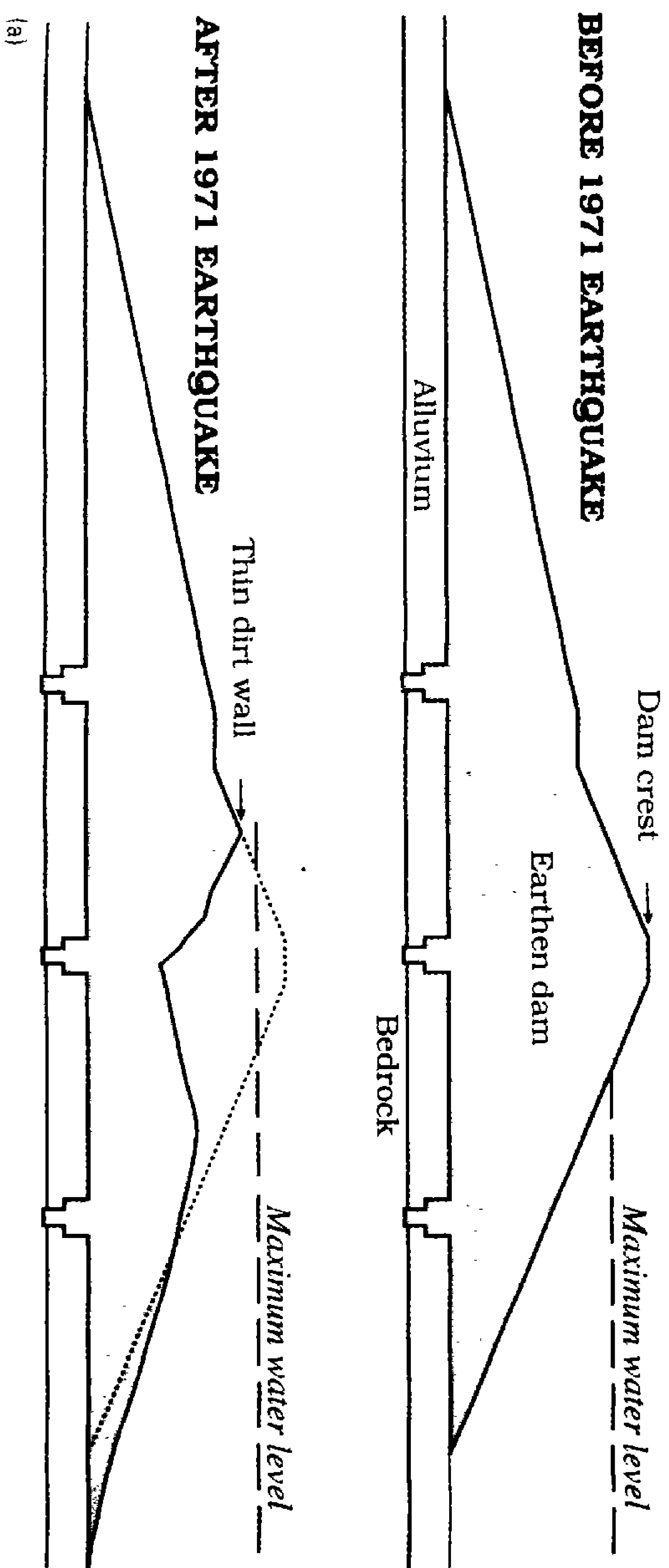


(a)



(b)

الشكل (٤٠-٣) انهيار أحد الكبارى. (أ) انهيار أحد كبارى الطريق السريع تحطمت فيه سيارة نقل وقتل شخصان. (ب) إذا حدث أن وقع الزلزال بعد الساعة ٦ صباحا لراح ضحيته أناس أكثر نتيجة تحطم هذه الكبارى.



الشكل (٣-٤١) انهيار سد فام نورمان السفلى. (أ) انزلاق أرضي هبط بالسد ٣٠ قدماً.



(b)

(ب) لو زاد زمن الهزة العنيفة بضع ثوان أخرى لانطلقت قوة مدمرة قدرها ١١.٠٠٠ إيكس - قدم من الماء على سكان وادي سان فيرناندو وراء السد.

جداول الفصل الثالث

الجدول (١-٢) بعض الموجات السنامية المعروفة حديثًا

Date	Cause	Height	Site	Deaths
1 November 1755	Earthquakes	10 m	Lisbon, Portugal	30,000
27 August 1883	Krakatau collapse	35 m	Indonesia	36,000
15 June 1896	Earthquake	29 m	Japan	27,000
2 March 1933	Earthquake	20 m	Japan	3,000
1 April 1946	Earthquake	15 m	Alaska	175
22 May 1960	Earthquake	10 m	Chile	> 1,250
27 March 1964	Earthquake	6 m	Alaska	125
1 September 1992	Earthquake	10 m	Nicaragua	170
12 December 1992	Earthquake	26 m	Indonesia	> 1,000
12 July 1993	Earthquake	31 m	Japan	239
2 June 1994	Earthquake	14 m	Indonesia	238
17 July 1998	Landslide	15 m	Papua New Guinea	>2,200

الجدول (٢-٢) نماذج من الفترات الزمنية والأطوال للموجات

Periods		Lengths	
<i>Wind-blown</i>			
<i>Ocean</i>	short:	5 seconds	39 m (128 ft)
<i>Waves</i>	medium:	10 seconds	156 m (512 ft)
	long:	20 seconds	624 m (2,048 ft)
<i>Tsunami</i>	long:	3,600 seconds (60 minutes)	837,000 m (2,745,600 ft) (520 mi)

الجدول (٣-٣) طاقة الزلازل بمقياس ريختر

Richter Magnitude	Energy Increase	Energy Compared to Magnitude 4
4		1
5	48	48
6	43	2,050
7	39	80,500
8	35	2,800,000

الجدول (٣-٤) الزلازل في العالم كل سنة

Magnitude	Number of Quakes		Description
	Per Year		
8.5 and up	0.3		
8-8.4	1		Great
7.5-7.9	3		
7-7.4	15		Major
6.6-6.9	56		
6-6.5	210		Strong (Destructive)
5-5.9	800		Moderate (Damaging)
4-4.9	6,200		Light
3-3.9	49,000		Minor
2-2.9	350,000		Very minor
0-1.9	3,000,000		

الجدول (٣-٥) مقياس ميركالى المعدل لشدة الزلزال

- ١ - لا يشعر به إلا عدد قليل جدا من الناس وخاصة فى ظروف مناسبة.
- ٢ - يشعر به عدد قليل من الناس فقط فى وقت الراحة، وخصوصا فى الطوابق العليا من المباني ذات الطبيعة الشديدة الحساسية.
- ٣ - يشعر به الناس تماما داخل المنازل وخصوصا فى الطوابق العليا، ولكن كثيرا من الناس لا يستطيعون تمييزه على أنه زلزال. واهتزازاته تشبه الاهتزازات الناجمة عن مرور سيارات النقل الخفيفة. وربما اهتزت السيارات الواقفة قليلا. ويمكن تقدير زمن استمرار الهزة.
- ٤ - يشعر به كثير من الناس داخل المباني وقليل من الناس خارجها. وربما يستيقظ النائمون ذوى النوم الخفيف. واهتزازاته تشبه الاهتزازات الناجمة عن مرور سيارات النقل الثقيل أو كأن يرتطم بالمبنى شىء ثقيل. وتتأرجح السيارات الواقفة. وتجلجل النوافذ والأطباق والأبواب؛ وتصلصل وتقعقع الأواني الزجاجية والفخارية. وفى المدى الأعلى لهذه الفقرة (٤) تزيق الإطارات والحوائط الخشبية.
- ٥ - يشعر به كل من كان داخل المباني، وكذلك الكثيرون ممن كانوا خارجها. يستيقظ كثير من النائمين. يخيف الكثيرين ويهرول البعض خارجين من المباني. وتتحطم بعض الأطباق والأواني الزجاجية والنوافذ. وتظهر شروخ بسيطة فى الجص. وتتحرك الأشياء الصغيرة وتنسكب السوائل وتدق الأجراس الصغيرة وتتأرجح الأشياء الطويلة. وترتبك الساعات ذات البندول.
- ٦ - يشعر به الجميع؛ ويخاف الكثيرون ويهرولون خارج المبنى. وتعم الإثارة. وتتحطم الأطباق والأواني الزجاجية والنوافذ بكميات لا بأس بها. ويسقط النجف الصغير والكتب والصور. ويتحرك الأثاث أو ينقلب. وتتشقق الحوائط الجصية وبعض الحوائط المبنية بالطوب. والخسائر طفيفة.

٧ - يخيف الجميع؛ ويصعب الوقوف. يشعر به سائقو السيارات. تدق الأجراس الكبرى. والخسائر تكاد لاتذكر فى المباني ذات التصميم الجيد والبناء المتين، وطفيفة فى المباني العادية الجيدة البناء ولكنها أكثر فى المباني الرديئة التصميم والبناء، والمقرآت والجدران القديمة. وتتحطم كثير من النوافذ وبعض المداخل. وتحدث انزلاقات أرضية صغيرة وتتحطم الكهوف الرملية وحواجز الحصى. وتثور الأمواج فى البرك، ويضطرب الماء.

٨ - ينتشر الرعب ويثير الإنذار الذعر. ويضطرب سائقو السيارات. وينقلب الأثاث الثقيل. والخسائر طفيفة فى المنشآت الجيدة التصميم ومعقولة فى المباني العادية بما فيها من انهيار جزئى. وتتحرك المنازل المبنية بالإطارات بعيدا عن أساساتها إذا لم تكن مربوطة جيدا. وتسقط معظم الحوائط والمداخل والأبراج والنصب التذكارية. وتندفع الينابيع ويتغير منسوب الماء فى الآبار. وتظهر الشروخ فى الأرض الرطبة والمنحدرات.

٩ - زعر عام. والخسائر معقولة حتى فى المباني المصممة على تحمل الزلازل. وتقذف بالمنازل المبنية جيدا بالإطارات بعيدا عن الأعمدة. وتتشقق الأرض بوضوح. وتتكرر الانهيارات تحت الأرض. وفى المناطق الرسوبية الرخوة تفرز الأرض الرمال والطين على شكل نافورات وتترك فجوات كفوهات البراكين.

١٠ - ومعظم المباني العادية تدمر. وتسقط بعض المنشآت الخشبية والكبارى. وتتشقق الأرض بخطورة وتحدث خسائر جسيمة بالسدود والحواجز. وتحدث انزلاقات أرضية كبيرة على ضفاف الأنهار والمنحدرات الشديدة. وتنتنى خطوط السكك الحديدية قليلا.

١١ - وقليل من المباني العادية يظل قائما. وتحدث خسائر فادحة فى السدود والحواجز، على مسافات كبيرة. وتسقط دعائم الكبارى الضخمة. وتحدث شقوق عريضة فى الأرض وتنخسف الأرض وتنزلق فى الأراضي

الرخوة والرطوبة. وتصبح خطوط الأنابيب تحت الأرض غير صالحة للاستخدام. وتنتثر كثيرا خطوط السكك الحديدية.

١٢- والخسائر تقريبا شاملة. والسطوح الأرضية تبدو كأنها تتحرك في أمواج. وتضطرب خطوط البصر والمناسيب. وتقذف الأشياء في الهواء.

الجدول (٦-٣) مقارنة بين قوة الزلزال وشدته وتسارعه

Richter Magnitude	Mercalli Intensity		Acceleration (% g)
2 and less	I-II	Usually not felt by people	less than 0.1-0.19
3	III	Felt indoors by some people	0.2-0.49
4	IV-V	Felt by most people	0.5-1.9
5	VI-VII	Felt by all; building damage	2-9.9
6	VII-VIII	People scared; moderate damage	10-19.9
7	IX-X	Major damage	20-99.9
8 and up	XI-XII	Damage nearly total	over 100 = over 1 g

الجدول (٧-٣) قوة الزلزال مقابل طول الهزة

Richter Magnitude	Duration of Strong Ground Shaking in Seconds
8-8.9	30 to 90
7-7.9	20 to 50
6-6.9	10 to 30
5-5.9	2 to 15
4-4.9	0 to 5

مراجع الفصل الثالث

نصوص ومراجع مقترحة Suggested Readings and References

- Bernstein, Joseph. (1954, August). Tsunamis. *Scientific American*, 191, 60–64.
- Bolt, B. A. (1997.) *Earthquakes*. New York: W. H. Freeman.
- Building Seismic Safety Council. (1986). *Improving Seismic Safety of New Buildings: A Community Handbook of Societal Implications*. Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.
- Dudley, W. C., and Lee, M. (1998). *Tsunami*. Honolulu: Univ. Hawaii Press.
- Gere, J. M., and Shah, H. C. (1984). *Terra Non Firma*. New York: W. H. Freeman.
- Holmes, A. (1965). *Principles of Physical Geology*. New York: Ronald Press.
- Myles, Douglas. (1985). *The Great Waves*. London: Robert Hale.
- Shelton, J. S. (1966). *Geology Illustrated*. New York: W. H. Freeman.
- Yanev, P. (1974). *Peace of Mind in Earthquake Country*. San Francisco: Chronicle Books.
- Yeats, R. S., Sieh, K., and Allen, C. R. (1997). *The Geology of Earthquakes*. New York: Oxford University Press.

Videos

الفيديو

- Raging Planet: Earthquake. (1997). Discovery Channel video (50 min.).
- When the Earth Quakes. (1990). National Geographic (28 min.).
- The Earth Revealed—Earthquakes. (1992). Annenberg/CPB Project (30 min.).
- The Earth Revealed—Living with Earth. (1992). Annenberg/CPB Project (30 min.).
- Earthquakes: Exploring Earth's Restless Crust. (1983). Encyclopedia Britannica (22 min.).
- Killer Wave: Power of the Tsunami. (1997). National Geographic (60 min.).
- Raging Planet: Tidal Wave (*sic*). (1997). Discovery Channel (50 min.).

الفصل الرابع

الزلازل فى غربى أمريكا الشمالية

وتبدو الطبيعة ذات سمات خلاف أحاسيسها الشاعرية

لها نزوات بأفعالها فى زمان بذاته

وتأتى بها لا تبررها وبدون ضوابط تحكمها

وتقرأ صفحاتها بانتباه كشخص غريب عجيب المزاج

كشخص يجبُّ الحنان، يبت القساوة دون انحياز

فيالقساوة سطوته، وبالحلاوة نفحته

فهى دون نظام تتقلب.

توماس هاردى فى ١٨٧٣

العينان الزرقاوان

تؤثر الزلازل فى حياة الناس الذين يعيشون فى غربى أمريكا الشمالية (الشكل ١-٤). ولكى نفهم الزلازل التى تجتاح غربى أمريكا الشمالية، فمن الضرورى أن نعرف تاريخ الألواح التكتونية فى الإقليم. وكلما اتسع حوض المحيط الأطلنطى، تحركت كلتا الأمريكتين الشمالية والجنوبية نحو الغرب فى حوض المحيط الهادى فتتقصان من حجمه (الشكلان ٧-٢ و ١٩-٢). وتحدد أوضاع الألواح وحركاتها عبر الزمان البقع الحارة فى الوشاح. فالبقع الحارة تتحرك بمعدل أبطأ من الألواح المحيطية. ولهذا فهى

تعمل كنقط مراجعة نصف ثابتة. ومنذ ٣٠ مليون سنة انضوى معظم القطاع الشمالى من لوح فاراللون تحت أمريكا الشمالية (الشكل ٤-٢). ومنذ حوالى ٢٨ مليون سنة تواصل القسم الأول من مركز انتشار المحيط الهادى بالقرب من الحدود الحالية بين الولايات المتحدة والمكسيك. وظلت تعمل بقية مراكز الانتشار فى الشمال والجنوب كسابق عهدها. فما الذى وصل هذه الأقسام من فروع مركز الانتشار؟ صدع تحويلى سابق لصدع سان أندرياس.

وفى ٥٠ مليون سنة الأخيرة اتسع خليج كاليفورنيا حوالى ٣٠٠ كم (١٩٠ ميلا) وهذا العمل الانشطارى فصل باجا كاليفورنيا وكاليفورنيا إلى الغرب من صدع سان أندرياس (متضمنا سان دييجو ولوس أنجلوس وسانتاكروز) عن لوح أمريكا الشمالية وألقى بهما على عاتق لوح المحيط الهادى (الشكل ٤-٢). وظل خليج كاليفورنيا يتسع وهو يحمل الكاليفورنيتين على لوح المحيط الهادى بمعدل حوالى ٥٦ مم/سنة (٢, ٢ بوصة/سنة).

فماذا يكون مصير شبه جزيرة كاليفورنيا؟ فهل تنفصل بفعل زلزال عملاق وتغطس فى قاع المحيط الأطلنطى كما يتوقع بعض المفكرين؟ كلا! فعملية التمزق والغطس العملاقة مستحيلة؛ لأنها مجرد خيال. تذكر نظرية التوازن! فالقارات مكونة من صخور أقل كثافة بحيث تطفو فوق صخور الوشاح الأعلى كثافة. فشريحة غربى كاليفورنيا وباجا كاليفورنيا ستظل تتحرك شمالا بغرب تجاه ألاسكا. فهل يمكن أن يغطس القسم القارى من الكاليفورنيتين فى نطاق الانضواء على طول الحافة الجنوبية لآلاسكا؟ نقول لا مرة أخرى. فالتوازن يمنع انضواء كتل قارية أقل كثافة تحت صخور محيطية أعلى كثافة. وبدلا من هذا فسوف تجرف الكاليفورنيتان ألاسكا حتى يصبح جزءا من حافتها الجنوبية. وسوف يتحول جنوبى كاليفورنيا من شواطئ ذات أمواج متكسرة إلى منحدرات للتزلج على الجليد.

واليوم توجد بأمريكا الشمالية عدة ألواح صغيرة ومتوسطة الحجم تنضوى تحت حافتها الغربية (الشكل ٤-٢). وكثير من المخاطر الزلزالية التى تحدث فى غربى أمريكا الشمالية ناجمة عن الانضواء الجارى لهذه الألواح الصغيرة وكذلك الآثار المستمرة لركوب لوح فاراللون. وعند دراسة أحجام ألواح المحيط الهادى وأمريكا الشمالية وفاراللون

يمكننا بسهولة تقدير أسباب الزلازل التي تؤثر على غربى الولايات المتحدة بأسره. فإذا علمنا أن اتساع لوح المحيط الهادى يزيد عن ١٣٠٠٠ كم (٨١٠٠ ميل) وأنه يطحن لوح أمريكا الشمالية الذى يزيد اتساعه عن ١٠٠٠٠ كم (٦٢٥٠ ميل)؛ فما أوسع النطاق الذى يتأثر بمرور هذه الهياكل الضخمة! وهل يمكن تخزين كل الإجهادات فقط على طول نظام صدع سان أندرياس؟ أم أن المنطقة التى تتأثر بها لابد أن تكون أكبر- فى حجم الولايات المتحدة بأكملها؟ وعند تقدير مقياس لهذه الألواح العملاقة يتضح لنا تماما أن تفاعلاتها تعتبر سببا مفهوما ضمنيا للزلازل فى غربى الولايات المتحدة.

وتقتصر دراستنا فى هذا الفصل على المناطق الساحلية للنظر فى الظاهرة الزلزالية المرتبطة بمراكز الانتشار والصدوع التحويلية ونطاقات الانضواء فى غربى أمريكا الجنوبية. وفى الفصل الخامس سوف نناقش تاريخ الزلازل واحتمالات حدوثها فى بقية أنحاء الولايات المتحدة وكندا.

زلازل نطاق الانضواء

يرجع السبب فى معظم الزلازل الكبرى فى العالم إلى الانضواء (الجدول ٤-١). فدخل ألواح المحيط ذات السمك الذى يبلغ عشرات الكيلومترات فى الوشاح يشتمل على قدر هائل من الطاقة. وفى الولايات المتحدة تعرف عادة كاليفورنيا بأنها «موطن الزلازل»، ولكن يتضح من الجدول (٤-١) أن آلاسكا أحق بهذا اللقب. ومنذ أكثر من ٥ ملايين سنة غطست أكثر من ٢٩٠ كم (١٨٠ ميلا) من لوح المحيط الهادى تحت جنوبى آلاسكا بالقرب من أنكوراج. وهذا ما أحدث بعض الزلازل المدمرة.

زلزال يوم الجمعة الطيبة فى آلاسكا فى ١٩٦٤

اشتملت رواية القديس ماثيو عن أول يوم للجمعة الطيبة على ما يلى: «وأنصتوا.. لقد زلزلت الأرض زلزالها، وتمزقت الصخور». وتنطبق هذه الكلمات ثانية

بعد ١٩٠٠ عام فى يوم الجمعة الطيبة الموافق ٢٧ مارس ١٩٦٤ . ففى الساعة ٥,٣٦ مساء بمنطقة قفر عند رأس الأمير ويليام ساوند أحدثت حركة انضواء كبرى زلزلاً عملاقاً . وأتبعته سلسلة من الهزات العنيفة بعد ٩ و ١٩ و ٢٨ و ٢٩ و ٤٤ و ٧٢ ثانية عندما مال لوح طوله ١٠٠٠ كم (أكثر من ٦٠٠ ميل) تقريباً وعرضه حوالى ٤٠٠ كم (٢٥٠ ميلاً) فى طريقه إلى الوشاح . وتقع آلاسكا فوق اللوح الراكب على لوح المحيط الهادى المنضوى؛ وانتقل أفقياً (نحو البحر) حتى ١٩,٥ متراً (٦٤ قدماً) وارتفع رأسياً ١١,٥ متراً (٣٨ قدماً) . وهذا التمدد الأفقى من جانب اليابسة أحدث سقوطاً لكثلة من اليابسة قدره ٢,٣ أمتار (٧,٥ قدماً) (الشكل ٤-٣) . وكانت بعض تفريعات قاع البحر أكبر؛ فقد شاركت فى هذه الحركة الضخمة ١١٠٠٠٠ ميل مربع من اليابسة ومن قاع البحر . وكانت أعماق البؤرة تتراوح بين ٢٠ حتى ٥٠ كم (١٢-٣٠ ميلاً) .

واستمرت الهزة الأرضية القوية مدة حوالى ٣-٤ دقائق، وحفزت عدة جلااميد للسقوط وكذلك عدة انزلاقات أرضية وتسويات أرضية وموجات سنامية . وتكبدت مدينة فاليز خسائر فادحة من جراء التشوهات الأرضية والانزلاقات الأرضية تحت الماء التى سببت موجات سنامية فدمرت واجهات المنشآت المطلة على الماء . وكانت الخسائر فادحة لدرجة أن المدينة أعيد إنشاؤها فى موقع آخر . وتكبدت أنكوراج ، أكبر مدن آلاسكا خسائر فادحة من الانزلاقات الأرضية . ولكن كان هناك عنصر من الحظ حليفاً فى توقيت الزلزال؛ إذ حدث فى أواخر يوم الجمعة ، حيث كان قليل من الناس فى وسط مدينة أنكوراج التى تكبدت خسائر جسيمة؛ وكان المد منخفضاً؛ وكان موسم الصيد منتهياً ولهذا لم يكن هناك أناس كثيرون على الأرصفة أو فى مصانع التعليب؛ وكان الطقس فى الأيام التالية موسمياً دافئاً وبهذا أنقذ كثيراً من الأرواح من وطأة البرد بينما كانت أنظمة التدفئة فى منازلهم عاطلة .

فلو قدر لهذا الزلزال أن يحدث بالقرب من منطقة كثيفة السكان لكانت أبعاد المأساة البشرية تفوق الخيال . وكانت الخسائر المادية أكثر ١٠٠ مرة من الثمن الذى دفعته الولايات المتحدة لروسيا فى ١٨٦٧ لشراء آلاسكا .

مكسيكو سيتي فى عام ١٩٨٥

فى صباح يوم الثلاثاء ١٩ سبتمبر ١٩٨٥ كان معظم سكان مكسيكو سيتي البالغ عددهم ١٨ مليون نسمة بالمنازل يتناولون طعام الإفطار. وفى الساعة ٧, ١٧ صباحا ثار زلزال وحشى على بعد ٣٥٠ كم (٢٢٠ ميلا). ومرت بعض الموجات الزلزالية بعيدا لتسدد ضربات مدمرة لكثير من المباني ذات ٦ حتى ١٦ طابقا التى كانت مزدحمة بكثافة أثناء ساعات العمل اليومية (الشكل ٤-٤). وقتلت انهيارات المباني حوالى ٨٠٠٠ شخص.

فما سبب ذلك الزلزال؟ نفذ لوح كوكاس إحدى حركاته المتكررة إلى أسفل. وفى هذه المرة مالت جهة طولها ٢٠٠ كم (١٢٥ ميلا) ١٨ درجة إلى الشرق وانضغطت إلى أسفل وإلى الشرق حوالى ٢, ٣ مترا (٧, ٥ قدما) فى هزتين متميزتين بفاصل بينهما ٢٦ ثانية (الشكل ٤-٥). وكانت للهزة الرئيسية موجة سطحية (Ms) قوتها ٨, ١. وفى يوم ٢١ سبتمبر تلتها موجة تابعة Ms قوتها ٧, ٥ وأخرى Ms فى يوم ٢٥ أكتوبر بقوة ٧, ٣. ولم تكن الزلازل مفاجأة لخبراء الزلازل؛ فقبل أن تحدث هذه الزلازل كانت المنطقة تعرف بأنها ثغرة زلازل ميتشوكان، فانتشرت كثير من الأجهزة فى الإقليم لقياس الأحداث الكبيرة المتوقعة.

ويوضح الشكل (٤-٥) أن ثغرة زلزالية كبيرة أخرى ينتظر أن تتعرض لحركة كبيرة من لوح كوكاس. وتقع ثغرة جيريرو بالقرب من أكابولكو الأقرب لمكسيكو سيتي من المركز السطحى لميتشوكان.

والزلازل لا تقتل ولكن المباني هى التى تقتل. تكبدت الكثير من المدن الساحلية القريبة من المركز السطحى قدرا محدودا من الخسائر؛ ولكن أكثر من ٥٧٠٠ مبنى فى مكسيكو سيتي تكبدت خسائر فادحة؛ إذ انهار ١٥٪ منها انهيارا كارثيا. فلماذا انهار هذا العدد الهائل من المباني وقتل هذا العدد الضخم من الناس؛ بينما تقع مكسيكو سيتي على بعد ٣٥٠ كم (٢٢٠ ميلا) من المركز السطحى للزلزال؟ يرجع ذلك بقدر كبير إلى الرنين بين الموجات الزلزالية، والأساسات المقامة على بحيرة من الرواسب الرخوة

والمباني الرديئة التصميم. وتزايدت المدة الزمنية لاستمرار الزلزال نظرا للطاقة الزلزالية المحتبسة في الرواسب الرخوة.

ومكسيكو سيتي مبنية فوق مدينة تينوكتيتلان العاصمة السابقة لقبائل آزتيك. وقد بنى الأزتيك مدينتهم حيث رأوا الفأل الحسن - نسرا واقفا على شجرة صبار ممسكا في فمه بثعبان يتلوى. وكان هذا الموقع بحيرة تكسيكوكو الواسعة المحاطة بصخور بركانية صلبة. وبمرور الزمن امتلأ نسيبا حوض البحيرة بالصلصال الرخو المشبع بالماء. وتم تصريف الماء من أجزاء من البحيرة وأقيمت فيها مبان ضخمة فوق الرواسب الضعيفة في قاع البحيرة.

وكانت الخسائر في المباني أعظم وعدد الوفيات أكبر حيث تضافرت عناصر ثلاثة في إيجاد الرنين: العنصر الأول - أطلقت الزلازل قدراً هائلاً من الطاقة في الموجات الزلزالية في حزمة التردد البالغ مقدارها من ١ حتى ٢ ثانية. والعنصر الثاني - المناطق التي تقع تحتها طبقة رخوة وسميكة من الصلصال واهتزت بتردد من ١ حتى ٢ ثانية ضخمت الموجات الزلزالية (الشكل ٤-٦). والعنصر الثالث - المباني ذات الطوابق من ٦ حتى ١٦ اهتزت بحزمة تردد مقدارها من ١ حتى ٢ ثانية. وعندما تضافرت العناصر الثلاثة وقعت الكارثة.

وكانت هناك أخطاء في تصميم المباني المنهارة (الشكل ٤-٧) بما فيها الطوابق الأولى الهشة وأجنحة المباني الرديئة الربط والمباني الغربية الشكل التي مالت وانفتلت عند أساساتها والمباني ذات الارتفاعات المختلفة وترددات الاهتزازات التي التصقت ببعضها البعض وارتطمت ببعضها أثناء الزلزال (الشكلان ٤-٧ ج ، و ٤-٨).

الزلازل المرتقبة في شمال غربي المحيط الهادى

كان سبب زلزال مكسيكو سيتي في ١٩٨٥ هو انضواء لوح صغير تجاه الشرق تحت لوح أمريكا الشمالية. وهناك ألواح أخرى صغيرة تنضوى تحت أمريكا الجنوبية في نطاق انضواء كاسكاديا (الشكل ٤-٩). ولم تقع زلازل عملاقة في شمال غربي

المحيط الهادى فى خلال ٢٠٠ سنة تقريبا منذ أن استوطنها الأوروبيون. فهل تظل هذه المنطقة خالية من الزلازل العملاقة؟ وهل يمكن أن ينسد نطاق انضواء كاسكاديا مثل البالوعة المسدودة بما يفيد توقف الانضواء؟ كلا. فالبراكين النشيطة فوق ألواح الانضواء تؤكد أن الانضواء لن يتوقف (انظر الفصل السابع). وهل يمكن أن يحدث الانضواء بنعومة وبهذا نتخلص من الزلازل العملاقة؟ ربما لا. فطبقة القشرة المحيطية التى تنضوى حديثة العمر، إذ تبلغ حوالى عشرة ملايين سنة من العمر تقريبا. والقشرة المحيطية الحديثة العمر أكثر طفوا ولكنها تنضوى تماما عندما تركبها قشرة قارية. وتتحرك قارة أمريكا الشمالية جنوبا بمقدار ٢,٥ سم/سنة (١ بوصة/ سنة) وتتصادم مع اللوح المحيطى الذى ينضوى على طول خط العرض ٦٨ شمالا ويتجه شرقا ٤,٣ سم/ سنة (١,٧ بوصة/ سنة). وبهذا يبدو مؤكدا أن نطاق الانضواء يخزن طاقة مرنة.

ويبلغ طول نطاق انضواء كاسكاديا ١٢٠٠ كم (٧٥٠ ميلا). وخواصه فى حداثة عمر اللوح المحيطى وتعشيقه القوى باللوح الراكب تماثل مواقف تحدث فى جنوب غربى اليابان وجنوبى شيلى. ويجد الإجهاد متنفسا فى اليابان فى زلازل بقوة ٨,١ Mw فى عامى ١٩٤٤ و ١٩٤٦. (وربما تغطى سلسلة من أربعة إلى خمسة زلازل مماثلة نطاق انضواء كاسكاديا بطوله). وتصرف إجهاد جنوبى شيلى فى أكبر زلزال قيس فى العالم ٩,٥ Mw. ويبلغ طول تمزق شيلى حوالى ١٠٠٠ كم (أكثر من ٦٠٠ ميل). ويمكن لزلزال فى قوة حدث شيلى أن يفتح نطاق كاسكاديا بأسره.

زلزال عام ١٧٠٠ ، أسفرت الدراسات الحديثة أن آخر الزلازل الكبرى حدثت هنا فى حوالى الساعة ٩ مساء فى يوم ٢٦ يناير عام ١٧٠٠ وكانت قوته حوالى ٩. فكيف عرفنا ذلك؟ هناك خطان متقاربان من البراهين. (١) بحساب عدد حلقات النمو السنوية فى أشجار الغابات التى أغرقت على طول ساحل أوريجون - وواشنطن - وبريتيش كولومبيا تبين أن الأشجار الميتة ليست لها حلقات بعد عام ١٦٩٩. ويبدو أن الأرض هبطت أثناء الزلزال وتسرب الماء إلى جذور الأشجار فقتلها فيما بين أغسطس ١٦٩٩ ومايو ١٧٠٠، بين نهاية أحد مواسم النمو وبداية الموسم التالى (الشكل ٤-١٠). (٢) يحتفظ اليابانيون بسجلات تفصيلية للموجات السنامية وأحجامها وهى التى تحدث متزامنة مع الزلازل بقوتها ومواقعها حول المحيط الهادى.

فالموجات السنامية التي بلغ ارتفاعها مترين (٧ أقدام) وضربت اليابان في الفترة من منتصف الليل حتى الفجر تدل على أن زلزالا وقع في الساعة ٩ مساءً على طول ساحل واشنطن أوريجون في يوم ٢٦ يناير ١٧٠٠.

فإذا كنت مقيما في بريتيش كولومبيا - أو واشنطن - أو أوريجون منذ ثلاثة قرون فما الذي كنت تشعر به؟ اهتزاز عنيف للأرض لمدة ٣-٥ دقائق وموجة سنامية ارتفاعها ١٠ أمتار (٣٣ قدما) تندفع نحو الشاطئ. وماذا يفعل زلزال تال قوته ٩ وله صدمات تابعة كبرى في مدن مثل بورتلاند وتاكوما وسييتل وفانكوفر وفيكتوريا؟ وما هو الزلزال الذي قوته ٩ والذي يحدث مستقبلا في شمال غربي المحيط الهادى؟

زلازل مركز الانتشار

لمراكز انتشار البحر الأحمر ومنطقة الصدع التحويلي للبحر الميت في العالم القديم نظير في العالم الحديث بمراكز الانتشار التي تفتح خليج كاليفورنيا وتحرك صدع سان أندرياس (الشكل ٤-١١). ومن الوجهة الجيولوجية فإن حوض خليج كاليفورنيا لا يقف حين يقف البحر عند خط الساحل الشمالى في المكسيك. وحوض المحيط المفتوح يستمر شمالا في الولايات المتحدة ويضم بحر سالتون وكوتشيللا ووديان أمبيريال في نهايات بحر سالتون. وإقليم وديان أمبيريال هو القسم الوحيد الواقع فوق قاع المحيط المفتوح. وفي الزمن الجيولوجى الماضى كان البحر يغمر هذا الإقليم. وعلى أية حال، ففي الوقت الحالى تمنع حركات الصدع والحجم الهائل من الرواسب التي يرسبها نهر كولورادو ماء خليج كاليفورنيا من التسرب. فإذا فتحت ثغرة في السد الطبيعى لازدهرت تجارة الولايات المتحدة في أهم مناطق الإنتاج الزراعى فيها نظير البحر المغلق الجديد داخل اليابسة.

ويتميز قسم مركز الانتشار الواقع في نهاية القطاع الجنوبى من بحر سالتون بتدفق الحرارة العالية والقباب الزجاجية البركانية وأوانى الطين المغلى والمخزون الكبير من الطاقة الحرارية الأرضية (المياه تحت السطح تسخن لدرجة ٤٠٠ مئوية تقريبا

بوجود الصهارة تحت السطح)، ومجموعات من الزلازل مرتبطة بالصهارة المتحركة (الشكل ٤-١١).

وحوض سالتون من أكثر المناطق نشاطا للزلازل فى الولايات المتحدة. فهناك زلازل تسببها الشروخ والشقوق فى الصخر القارى، ومجموعات من الزلازل تسببها الصهارة المتحركة بنشاط. وتآلف منطقة زلازل براولى فى النهاية الجنوبية لبحر سالتون مئات الزلازل فى مدى بضعة أيام. فمثلا، فى أربعة أيام من شهر يناير عام ١٩٧٥ حدثت ٣٣٩ هزة بقوة M_L تزيد عن ١,٥، و٧٥ هزة أخرى أشد عنفاً تزيد عن M_L ٢ وأكبر الهزات كانت قوتها M_L ٤,٧. ونظرا إلى عدم قابلية الصخور الساخنة لتخزين الإجهاد بفاعلية، فإن الطاقة تنصرف عن طريق عدة زلازل صغيرة. وتولدت أكبر الزلازل فى الوادى من الشقوق فى الصخور القارية الهشة.

لاحظ فى الشكل (٤-١١) أن صدع سان أندرياس ينتهى عند النهاية الجنوبية الشرقية لبحر سالتون عند الحد الشمالى لمركز الانتشار. ولاحظ أيضا أن صدوعا أخرى كبيرة مثل أمبيريال ونظام سان جاكيننتو وسيرو بريكو والزينور ولاجونا سالادا تبدو كذلك على أنها صدوع تحويلية تصطف مع أقسام مركز الانتشار. ومن المنظور الواسع، نجد أن جميع الصدوع شبه المتوازية واليمينية الجانبية والتحويلية جزء من نظام صدع حدود لوح سان أندرياس الذى يحمل شبه جزيرة كاليفورنيا إلى الشمال الغربى. وتشمل الزلازل الكبيرة فى تلك الصدوع فى الأيام الأخيرة فى المنطقة التى يغطيها الشكل (٤-١١) زلزالا قوته M_L ٧,١ (*) على صدع أمبيريال فى عام ١٩٤٠، وزلزالا بقوة M_L ٦,٥ فى نظام سان جاكيننتو فى عام ١٩٤٢، وآخر بقوة m_b ٦,٦ على صدع أمبيريال فى عام ١٩٧٩ وغيره بقوة m_b ٦,٤ على صدع أمبيريال فى عام ١٩٨١، وزلزال بقوة M_S ٦,٦ فى نظام سان جاكيننتو فى عام ١٩٨٧. هذه الزلازل كبيرة ولكن الوفيات والخسائر فى كل حدث منها كانت نمطيا طفيفة نظرا لندرة عدد السكان فى الإقليم ومعظم المباني منخفضة وتخلصت الهزات المتكررة من المنازل الرديئة البناء.

(*) موجة محلية M_L - موجة داخلية M_b - موجة سطحية M_S . (المترجم)

زلازل الصدع التحويلي فى كاليفورنيا

سان فرانسيسكو فى ١٩٠٦

كانت سان فرانسيسكو فى باكورة القرن العشرين موطننا لحوالى ٤٠٠٠٠٠ مواطن يتمتعون بالعيش فى مدينة عالمية نمت فى أوقات الازدهار الاقتصادى الذى شهدته أواخر القرن التاسع عشر. وفى مساء يوم ١٧ أبريل ١٩٠٦ ارتعد الكثيرون طربا من الظهور الخاص لأشهر المطربين فى العالم إنريكو كاروسو. وهو يغنى مع فرقة أوبيرا متروبوليتان فى كارمين بيزيت. ولكن بعد ساعات قليلة، فى الساعة ١٢, ٥ صباحا بدأت تصل الموجات الابتدائية لزلازل عملاق فتدمر المدينة. وكثرت روايات شهود العيان. فقال أحد المستيقظين مبكرا أنه شاهد الزلازال يقترب عندما ارتفع الشارع أمامه عرضيا وانخفض وكأنه سلسلة من موجات المحيط تتحرك نحو الشاطئ. وقال عالم النفس الأمريكى المشهور ويليام جيمس المقيم فى جامعة ستانفورد مايلى فى هذا الشأن:

عندما شعرت بالسريـر يتأرجح تبادر إلى ذهنى أحد الاهتزازات المرحـة لطبيعة الحركة. «وأقسم بالله» أننى قلت لنفسى: «هذه هى توابع الزلازل القديم بعد كل شىء». ثم ولّت تصاعديا، «وهى رائعة حقا كذلك».

وجلسـت رغما عنى متخذا الوضع راكعا، وانقلبت على وجهى عندما اشتدت الهزة وكانت الغرفة حينئذ أشبه شىء بفأر يهتز فى فم كلب صيد. ثم انزلق كل شىء إلى الأرضية، وانقلب المكتب والخزانة ذات الأدراج بارتطام عندما ارتفع الصراخ؛ وتشقق الجص وزأرت ضوضاء مرعبة ملأت الفضاء الخارجى، وما هى إلا لحظة حتى استقر كل شىء ثانية. وكانت مشاعرى حافلة بالمرح والإعجاب؛ وكنت طروبيا لأن تتحقق فكرة خيالية أو لفظ شفهى كالزلازل؛ الذى ترجم إلى إحساس بالحقيقة الواقعة؛

وأعجبت بالطريقة التي استطاع بها المنزل الهش المصنوع من
الخشب أن يتماسك إزاء هذه الهزات. ولم يساورنى أى شعور
بالخوف، بل كان المرح يغمرنى. وصحت قائلاً: «مرحباً بك أيها
الزلازل! هات ما عندك أقوى من ذلك!»

وفى لحظة ضوضاء أطلقت الأرض التي تتأرجح بشدة أصواتاً كئيبة مدوية
مصحوبة بحطام المنشآت التي صنعها الإنسان. وعندما استقرت الأرض فى النهاية،
خرج الناس من منازلهم وحملقوا فى سحابة ضخمة من الرماد قبل أن يشاهدوا
الدمار. وتكومت المباني غير المدعمة التي انهارت، بينما قاومت أكثر المباني ذات
الإطارات الحديدية والمبنية من الأخشاب. ومن عناصر الانهيار الأخرى طبيعة الأرض
التي بنيت عليها. وكان الدمار هائلاً فى تلك الأحياء من المدينة المبنية فوق حشوة
صناعية من الردم المقدس فوق مستنقعات سابقة فى الخليج ذات أرض رطبة أو فى
واديان صغيرة نحتتها مجارى الأنهار لتهيئتها لبناء المنشآت.

وبعد أن أفزعت الناجين الموجات المتكررة للتوابع بدأ ينمو ما هو أخطر حتى من
الزلازل. إذ ارتفعت ألسنة الدخان من كثير من المواقع التي اشتعلت النيران فى
أنقاضها الخشبية. ولسوء الحظ، أن نفس الموجات الزلزالية التي حطمت المباني كسرت
معظم أنابيب المياه، وبهذا حالت دون إطفاء الحرائق المتنامية. وبدأت الحرائق تندفع من
المناطق التجارية والمناطق القريبة من موارد المياه بلا هوادة إلى بقية أحياء المدينة.
وحاول اليائسون نسف المباني لوقف انتشار الحرائق ولكنهم ما زادوها إلا تغذية،
وحاولوا حتى إبعاد الحطام المشتعل إلى أماكن بدأت تنتشر فيها الحرائق.

وفى هذه الأثناء، وفى منطقة سكنية متلاصقة المنازل الخشبية المتعددة الطوابق،
بدأت إحدى السيدات تعد وجبة الإفطار المكونة من البيض المقلّى بلحم الخنزير وفى غفلة
منها سقطت مدخنتها دون أن تدري. فأحدثت حريقاً جديداً أضيف إلى بقية الحرائق
التي ظلت مشتعلة ثلاثة أيام وليلتين. وصدر فى مجلة سان فرانسيسكو التقرير التالى:

وأفزع المشاهد على الإطلاق كان السكون الرهيب والحركة
الدؤوبة - فالألوان لم تتميز بالنهار أو بالليل، ولكن الأصوات

كانت حادة النغمات شديدة النشاط والهيّاج بشكل لا يصدق
عقل خارج فوهة البركان. وكان المشهد الخلفى متوهجا بشكل
رهيب وعبوس وكأنه منظر غريب لوجه رجل يحتضر.

وأحدثت الحرائق من الخسائر عشرة أضعاف ما أحدث الزلزال ذاته؛ فالحرائق
دمرت من المباني ما يغطى ٤٩٠ مربعا من المدينة. وتركزت الوفيات والدمار فى سان
فرنسيسكو حيث مات ٣١٥ شخصا ولكن المنطقة المتضررة كانت أكثر بكثير. فحوالى
٧٠٠ وفاة حدثت فى حزام طوله ٤٣٠ كم (٢٦٥ ميلا) من الأرض يقع بالقرب من
صدع سان أندرياس. وتكبدت المدن الواقعة فى نطاق الكثافة السكانية العالية مثل
سان جوزي وسانتا روزا خسائر فادحة، ولكن المدن الأخرى الواقعة إلى الشرق من
النطاق الضيق مثل بيركيلي وساكرامنتو تجنبت كثيرا من الخسائر. وتفاقمت المشكلات
فى الشهور التالية بسبب الأوبئة وأمراض التلوث التى أصابت سكان كاليفورنيا،
وأصيب أكثر من ١٥٠ حالة بالطاعون الوبائى. وبإضافة جميع الوفيات بسبب إصابات
الزلزال والأمراض ربما بلغ مجموع الوفيات من الزلزال حوالى ٥٠٠٠ نسمة.

ومن المظاهر المثيرة للانتباه فى الكوارث آثار النشاط التى يُبدىها كثير من
الناجين. ففي أوقات الشدة يبدى الكثير من الناس حسن الخلق. ففي أعقاب هذا
الزلزال مباشرة، خطط المتجاوبون من أهل سان فرنسيسكو لبناء معرض بنما- المحيط
الهادى الدولى الذى أدهش العالم وخلف وراءه كثيرا من المباني التى يأوى إليها
السياح اليوم. فالمدينة الجميلة لا يمكن إهمالها.

زلازل صدع سان أندرياس

يعتبر صدع سان أندرياس جزءا من منظومة مركبة من الصدوع شبه المتوازية
(الشكل ٤-١٢). فصدع سان أندرياس بذاته يبلغ طوله ١,٢٠٠ كم (٧٥٠ ميلا)، وهو
صدع يمينى جانبى. وفى عام ١٩٠٦ انطلق قطاع الصدع فى أقصى الشمال فى
محافظة مارين وسان فرنسيسكو، وتشقق شمالا وجنوبا فى وقت واحد (الشكل ٤-١٣).

وعندما توقف انتقاله تشققت الأرض الواقعة بين كيب ميندو وسينو وسان جوان بوتيسا (الشكل ٤-١٢)؛ وتبلغ هذه المسافة ٤٣٠ كم (٢٦٥ ميلا). وتقدر قوة الزلزال حوالى ٨ نتجت عن حركة الصدع لمدة ٦٠ ثانية. وعندما توقفت الحركة انتقل الجانب الغربى إلى اتجاه الشمال أفقيا بحد أقصى ٦ أمتار (٢٠ قدما). وفى شبه الجزيرة الواقعة جنوبى سان فرنسيسكو شكلت حركات الصدوع تضاريس طبوغرافية مستطيلة لمناطق منخفضة تملؤها البحيرات اليوم، وسويت بعض شقوق الأرض بسبب حركات ١٩٠٦ وأقيمت عليها المباني (الشكل ٤-١٤). وفى المستوى العمودى كسرت حركة الصدع تماما قشرة فى الإقليم سمكها ١٥-٢٠ كم. وتناقص مقدار حركة الصدع فى عام ١٩٠٦ إلى الصفر فى طرفى الكسر الشمالى والجنوبى.

واليوم، يعانى قطاع سان فرنسيسكو فى صدع سان أندرياس من نقص فى الزلازل. فهذا القطاع من الصدع مقفل ظاهريا (الشكل ٤-١٥). ويخترن تقريبا كل الإجهاد الناتج عن الألواح التكتونية لعدة قرون حتى لا يستطيع الصدع فى آخر الأمر أن يخترن المزيد ويتمزق فى حدث كبير ويصرف طاقته المخزونة فى حركة كارثية.

ولصدع سان أندرياس سلوكيات مختلفة على طول امتداده. فالقطاع التالى إلى الجنوب الواقع بين سان جوان بوتيسا وكولامى (الشكلان ٤-١٢ ، و٤-١٥)، تتكرر فيه الزلازل الصغيرة والمتوسطة الحجم. وهو قطاع زاحف من الصدع حيث تمتص الزلازل العديدة قوى الألواح التكتونية قبل أن تنمو إلى المستويات العليا. وتوضح الحركات الزاحفة للصدع بالمليمترات تفرعها الجارى كل سنة فى الأرصفة والأسوار والمباني والظواهر الأخرى. ويبدو أن الزلازل فى هذا القسم من الصدع لا تتجاوز قوتها ٦. وهذه الزلازل لا تزال مهمة، ولكنها صغيرة إذا قورنت بالأحداث التى تقع فى القطاعات المجاورة من الصدع.

والقسم من صدع سان أندرياس الواقع بين شولامى وسان بيرناردينو منطقة مغلقة أخرى يندر فيها النشاط الزلزالى (الشكلان ٤-١٢ ، و٤-١٥). وعلى أية حال، وفى يوم ٩ يناير ١٨٥٧ انطلق هذا القسم من الصدع فى نهايته الشمالية وانتشر الكسر جنوبا بشرق فى زلزال فورت تيجون الكبير بقوة ٨,٢ .

ونظرا لتقدم جبهة الكسر فى اتجاه واحد، فقد استمرت حركة الصدع حوالى ثلاث دقائق. وانكسر سطح الأرض ٣٦٠ كم (٢٢٥ ميلا) على الأقل، وكانت أقصى تشققات فى سهل كاريزو مذهلة بلغت ٩,٥ أمتار (٣١ قدما) (الشكل ٤-١٦). ومن مظاهر التشققات أن إحدى حظائر المواشى المستديرة انشقت وتحولت بفعل حركة الصدع إلى شكل S. وفى عام ١٨٥٧ كان الإقليم نادر السكان؛ ولهذا كانت الخسائر فى الأرواح والمنشآت ضئيلة. وفى المرة التالية حدث هناك زلزال كبير وربما كانت الأضرار الناجمة عنه كارثية.

والقسم من صدع سان أندرياس الواقع فى أقصى الجنوب من سان بيرناردينو حتى بحر سالتون منطقة معقدة لم يتولد فيها فى الزمن التاريخى زلزال كبير حقا (الشكل ٤-١٧)؛ ففيها مناطق مقفلة.

ولكاليفورنيا تاريخ مسجل جيدا منذ حوالى ١٥٠ عاما. فكيف يمكن أن تمتد معرفتنا عن الزلازل فى عصر ما قبل التاريخ؟ فعادة ما تترك الزلازل الكبيرة بصمات لنشاطاتها فى الرواسب. ويمكننا قراءة تاريخ الزلازل فى الرواسب باستخدام تقنيات نظرية التكتونيات الحديثة وعلم الزلازل القديمة.

ففى ديسمبر ١٩٨٨ قامت مجموعة من خبراء الجيولوجيا باستخدام التحاليل للزلازل القديمة للتنبؤ بأحجام الزلازل واحتمالات حدوثها فى بعض الصدوع الكبرى فى كاليفورنيا (الشكل ٤-٢٢). فقررنا احتمال ٣٠٪ لزلزال قوته ٦,٥ يحدث فى قطاع لومابريتا من صدع سان أندرياس خلال ٣٠ عاما. وبعد عشرة شهور حدثت هناك سلسلة عالمية من الزلازل قوتها ٧,١.

وفى ١٩٩٩ قدرت جماعات العمل أن هناك احتمالا قدره ٧٠٪ لوقوع زلزال واحد قوته ٦,٧ ليضرب إقليم خليج سان فرانسيسكو قبل عام ٢٠٣٠ واحتمال ٨٥٪ لوقوع زلزال قوته ٧ أو أكثر فى جنوبى كاليفورنيا قبل عام ٢٠٢٤.

حاشية جانبية: فكرة البناء التكتوني الجديدة وعلم الزلازل القديمة

يسير صدع سان أندرياس بميل خلال الأرض بطيات تضاغطية مسببة ارتفاع الأرض، وطيّات تباعدية مسببة هبوط الأرض (الشكلان ٤-١٨ ، و ٤-١٩). فالأرض الهابطة أو مناطق السدود الصدعية خلال منطقة الصدع يمكن أن تصبح بركاً تستقبل: (١) ذرات الرمال المتدحرجة من الأمطار الغزيرة، (٢) وصلصالا يترسب ببطء من الماء المستقر في البرك، (٣) والنباتات التي عاشت وماتت ودفنت في الصلصال والرمل. وهذه العمليات تشكل سجلاً دقيقاً للطبقات الرسوبية التي قد تضطرب وتتشعب بالحركات الصدعية التالية. فهذا هو سجل يمكن أن نقرأه. وعاشت الطبقات الأقدم (المدفونة في الأعماق) مدة أطول وتشعبت بالحركات الكثيرة في الصدوع المحدثّة للزلازل (الشكل ٤-٢٠). ويتناسب مقدار تشقق الصدع تناسباً طردياً مع قوة الزلزال؛ فكلما زادت الشقوق في طبقات الرواسب كانت قوة الزلزال أكبر. وهذه المبادئ توحى بطريقة لتقدير الحجم التقديرى لزلزال ما قبل التاريخ. فإذا حفرت خندقاً بسيطاً خلال رواسب ملأت بركة صنعها الصدع، قرأت التشققات المسجلة في الرواسب (الشكلان ٤-٢٠ ، و ٤-٢١). فطبقات الرواسب على جانبي الخندق يمكن تمييزها بحفر شبكة من الخنادق المتقاطعة لتحصل على منظر ثلاثي الأبعاد لتشققات الصدوع عبر الزمان.

ويمكن الحصول على تواريخ زلازل ما قبل التاريخ بتحليل كميات من الكربون المشع في المادة العضوية (مثل كتل الخشب والأغصان وأوراق الأشجار والفحم) الموجود في طبقات الرواسب. فجميع مظاهر الحياة تستخدم الكربون أساساً لبناء الأجسام. ويتواجد معظم الكربون في النظير (ك ١٢)، ولكن نسبة صغيرة من الكربون المشع (ك ١٤) ينتج في الغلاف الجوى بقذف ذرات النيتروجين بشبه نويات من جزيئات منبعثة من الشمس. ويوجد الكربون بوفرة في الغلاف الجوى على شكل ثاني أكسيد الكربون (ك أ ٢). وتستهلك جميع النباتات والحيوانات ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوى، وجميع أخشابها وأوراقها وعظامها وأصدافها وأسنانها... إلخ مبنية جميعها نسبياً بالكربون المشع. وطالما عاش كائن حي فهو يتبادل ثاني أكسيد الكربون مع الغلاف الجوى عن طريق التمثيل الضوئي أو التنفس.

وتظل نسبة الكربون المشع في النبات أو الحيوان مماثلة لنسبتها في الغلاف الجوى طالما كان الكائن الحى على قيد الحياة. وعلى أية حال، عندما يموت الكائن الحى يتوقف عن سحب الكربون المشع ويخمد الكربون المشع من أنسجته في نصف عمر مقداره ٥٧٣٠ سنة. فوجود المادة العضوية يسمح لنا بتقدير زمن الوفاة وبالتالي عمر الرواسب المحيطة به. وهكذا يتقرر العمر الفعلى لطبقات الرواسب الصدعية. ويتقدير التواريخ الحقيقية نتمكن من تقدير الفترات الزمنية لتكرار الزلازل، أى عدد السنين التى تمر بين الزلازل فى موقع معين.

والشكل (٤-٢٠) مخطط يمثل حائط أخذ الخنادق المطروحة فى رواسب بركة صدعية يوضح كيف نقرر أحجام الكسور وفواصلها الزمنية. والمثال الواقعى لتكدس الرواسب فى بركة صدعية يتضح من الشكل (٤-٢١). ففى باليت كريك على طول صدع سان أندرياس، قدر عالم الجيولوجيا كارى سيه أن تحدث زلازل ذات تشعب أفقى قدره ٦ أمتار (٢٠ قدما) كل ١٣٢ سنة. وعلى أية حال، تحدث زلازل بهذا الحجم على فترات متقاربة تبلغ ٤٤ عاما ومتباعدة تبلغ ٣٣٠ عاما.

التنبؤ بالزلازل المتوسطة والبعيدة المدى

هل نستطيع أن نتنبأ بالزلازل ذات المعايير المتوسطة والبعيدة المدى باستخدام أسلوب علم الزلازل القديمة؟ يبدو ذلك ممكنا فى بعض الصدوع وغير ممكن فى غيرها. ويصنف عالم الجيولوجيا توماس ك. روكويل فى جامعة ولاية سان دييجو توقعيات حركات الصدوع فى ثلاث مجموعات: (١) حركات شبه منتظمة الفترات. وهذه الصدوع تحدث حركاتها الكبرى تقريبا فى فترات زمنية متساوية. وهذا النموذج المنتظم يمكن تحديده باستخدام طريقة الخندق وتواريخ الكربون المشع المستخدمة فى علم الزلازل القديمة. (٢) حركات جماعية. وهذه الصدوع لها أقسام من الصدوع المجاورة تتحرك أثناء عدة عقود، ثم تتوقف حركتها لقرن أو لألفية من السنين حتى تبدأ المجموعة التالية فى التكوين. وأفضل مثال للحركات الجماعية ما يحدث اليوم فى شمالى الأناضول فى تركيا (الشكل ٢-٣٦). (٣) حركات عشوائية. وهذه الصدوع لا يمكن التنبؤ بها؛

فليس لها نموذج محدد لحركاتها الكبرى، وربما كان صدع سان أندرياس ضمن هذه المجموعة.

زلزال الدورة الرياضية العالمية (لوما بريتا) فى عام ١٩٨٩

فى عام ١٩٨٩ عقدت الدورة الرياضية العالمية للبيسبول فى منطقة الخليج. وتقابل بطل الدورى الأمريكى فريق أوكلاند الرياضى مع بطل الدورى الوطنى فريق عمالقة سان فرنسيسكو. وتقرر أن تجرى المباراة الثالثة فى ملعب كاندل ستيك بارك فى سان فرنسيسكو حيث يحقق فريق العمالقة ميزة اللعب على أرضه مما يساعده على الفوز بالمباراة الأولى. كان ذلك فى يوم الثلاثاء ١٧ أكتوبر حيث أنهى كلا الفريقين تمريناته التى شهدها ٦٠ ألف مشجع فى أرض الملعب بالإضافة إلى حشد من ٦٠ مليون آخرين فى الولايات المتحدة وملايين غيرهم فى جميع أنحاء العالم عبر شاشات التلفاز. وفى الساعة ٥,٠٤ مساءً وقبل الوقت المحدد لبدء المباراة بفترة ٢١ دقيقة دوت فى الجو قرقرة بعيدة وسمع صوت رعد عادى من اتجاه الجنوب الغربى هز المشجعين وأوقف تنفيذ المباراة. إذ تعرضت سان فرنسيسكو لزلزال كبير آخر، وفى هذه المرة شاهده جموع المشاهدين فى التلفاز، وبعد الزلزال هل جمهور سان فرنسيسكو فى كاندل ستيك بارك، بينما توجه الكثيرون من خارج الولاية نحو منازلهم.

فما سبب هذا الزلزال؟ دارت مباراة تضاعط مدتها ٨٣ سنة بين لوح المحيط الهادى ولوح أمريكا الشمالية نتج عنها شق طوله ٤٢ كم (٢٦ ميلاً) فى منطقة صدع سان أندرياس. وانطلق القسم الواقع فى أقصى الجنوب من منطقة الصدع الذى تحرك فى عام ١٩٠٦ وتحرك ثانية. وكانت لهذا الزلزال فى ذلك الوقت عدة ظواهر مختلفة: (١) حدث الشق للصدع فى العمق؛ (٢) لم تحدث حركة الصدع تشققات على سطح الأرض؛ (٣) كانت هناك مكونات لحركة عمودية؛ (٤) استمر تمزق الصدع ١١ ثانية فقط، وهو زمن قصير غير عادى بالنسبة لزلزال قوته ٧,١.

حدثت الحركة في طية تضاغطية ذات تدرج يسارى لطيف في منطقة صدع سان أندرياس (الشكل ٤-٢٣). ونتيجة للتضاغط الطويل المدى على هذا التدرج اليسارى ارتفعت جبال سانتاكروز. وهذه الدرجة في صدع سان أندرياس قريبة حيث تمزق صدعا كالافيراس وهايوارد وانزلقا على الجانب الشرقى لخليج سان فرنسيسكو. ويقع المركز السطحي لزلزال ١٩٨٩ بالقرب من لوما بريتا أعلى قمم جبال سانتا كروز؛ وسرت عليها القاعدة التى تطلق اسم أهم المعالم الجغرافية بالقرب من المركز السطحي على الزلزال؛ إلا أنه ظل معروفا للكثير من الناس باسم زلزال الدورة الرياضية العالمية.

ومن الصعب أن تتحرك صدوع في منظومة سان أندرياس حول طية درجة يسارية. فالطيات التضاغطية عادة ما تقفل؛ ولهذا، تميل الحركات هنا إلى أن تكون كبيرة وغير متكررة. وسببت هذه الدرجة اليسارية كذلك ميلا في مستوى الصدع مقداره ٧٠ درجة إلى الجنوب الغربى (الشكل ٤-٢٤). وبدأت حركة الصدع في عمق ١٨,٥ كم (١١,٥ ميلا) وانزلقت ٢,٣ أمتار (٧,٥ أقدام). وكان من الممكن أن تنفك هذه الحركة في ١,٩ مترا (٦,٢ أقدام) من الحركة الأفقية (المضرب المنزلق) و١,٣ مترا (٤,٣ أمتار) من الحركة الرأسية (منزلق معكوس). واختلف الأمر، فتتحرك جانب اللوح الغربى أو لوح المحيط الهادى ٦,٢ أقدام إلى الشمال الغربى، وارتفع جزء من جبال سانتا كروز ٣٦ سنتيمترا (١٤ بوصة). ورغم أن الصدع لم يشق السطح فقد كان اتساع المنطقة التى ارتفعت ٣ أميال وتعددت بها الشقوق في المنطقة المرتفعة والممتدة. وأصبح الكثير من المناطق المشروخة مواقع للانزلاقات الأرضية.

وكانت قوة الموجة السطحية Ms للهزة الرئيسية ٧,١، أتبعته عدة هزات تابعة كما هي العادة في الزلازل الكبرى. وظلت منطقة لومابريتا منطقة هدوء نسبي للزلازل منذ حركة صدع ١٩٠٦ (الشكل ٤-٢٥)؛ وقبل ١٩٨٩ كان إقليم لوما بريتا «ثغرة زلزالية». ويوضح القطاع المقطعى (أ) في الشكل (٤-٢٥) أن المراكز السطحية المتعددة تشير إلى أن القسم الجنوبي من صدع سان أندرياس يتحرك كثيرا مولدا زلازل صغيرة. ولكن إجهادات نفس اللوح التكتونى المؤثرة على منطقة الزحف تؤثر كذلك على المنطقة المقفلة أو منطقة الثغرة الزلزالية؛ فكيف تتصل المنطقة المقفلة بمنطقة الزحف؟

عن طريق حركات الصدوع الكبيرة غير المتكررة. لاحظ فى القطاع المقطعى (ب) كيف ملأت الصدمة الرئيسية والصدمات التابعة فى زلزال الدورة العالمية (لوما بريتا) الثغرة الزلزالية فى القطاع المقطعى (أ). وهذا يهين ميزة لطريقة الثغرة الزلزالية بصفتها أداة للتنبؤ. ويوضح الشكل ٤-٢٥ كذلك ثغرة زلزالية أخرى، جنوبى سان فرانسيسكو فى المنطقة الوسطى المكتظة بالسكان (وهى منطقة البحيرات المستطيلة الموضحة فى الشكل ٤-١٤). وزادت حركة صدع ١٩٨٩ الشذوذ بمقدار ١٠٪ لزلزال كبير فى منطقة خزانات كريستال سبرينجز فى ٣٠ سنة التالية (الشكل ٤-٢٢).

وفى زلزال الدورة العالمية انشق الصدع بسرعة تزيد عن ٢ كم/ثانية فى جميع الاتجاهات فى وقت واحد، لأعلى ١٣ كم (٨ أميال) وفى كلا الاتجاهين شمالا وجنوبا لأكثر من ٢٠ كم (١٣ ميلا) لكل منهما. ويبين الجدول (٣-٧) أن الزلازل ذات القوة من ٧ حتى ٧,٩ عادة تنشق فى مدة من ٢٠ حتى ٥٠ ثانية، وهذا الانتشار الدائرى فى الشق بقوة ٧,١ استغرق ١١ ثانية فقط. فإذا كان استمر من ٢٠ حتى ٣٠ ثانية المتوقعة لحدث انهيارات كارثية فى المباني وطريق إمبركيديرو ذى السطحين فى سان فرانسيسكو. والواقع أن الحدث خلف وراءه ٦٧ قتيلا، و٣٧٥٧ جريحا وأكثر من ١٢٠٠٠ بلا مأوى وتسبب فى العديد من الانزلاقات الأرضية وعطل وسائل النقل والمرافق وسبل الاتصالات وبلغت مجموع الخسائر ٦ بليون دولار.

الزلازل لا تقتل ولكن المباني هى التى تقتل. فى منطقة المركز السطحى تكبدت الكثير من المباني القديمة خسائر فادحة. فقد صبت الموجات الابتدائية والموجات الثانوية القصيرة المدة جام غضبها على المباني المنخفضة المبنية من مواد بناء صلبة. ومن أسباب الانهيار الشائعة سوء ربط المباني بقواعدها وبناء المباني بلا دعائم وتشديد الواجهات بقوالب الطوب، ورفع المباني من طابقين إلى خمسة طوابق مع النقص فى حوائط الحمل الداخلية والدعائم الكافية. ومات فى سانتا كروز أربعة أشخاص ودُمر تقريبا المركز التجارى باسيفيك جاردن وهو المركز التاريخى القديم الوحيد فى المدينة المبنى بالأحجار وقوالب الطوب الذى احتفظ به الناس وحولوه إلى مزار سياحى.

وتسابت الموجات الزلزالية من إقليم المركز السطحي إلى الخارج بأكثر من ٣ أميال/ثانية. وظلت بعض موجات القص الطويلة المدة قوية حتى بعد انطلاقها ١٠٠ كم (أكثر من ٦٠ ميلاً). وعندما وصلت هذه الموجات الزلزالية إلى مناطق الأساسات الطينية الرخوة والحشوة الصناعية (الدُّكة) حول خليج سان فرنسيسكو زادت اهتزازاتها.

حي مارينا. وحي مارينا واحد من أجمل المناطق في سان فرنسيسكو. ويقع على الشاطئ الشمالي للمدينة بعد المتنزهات وكوبري البوابة الذهبية والخليج ذاته. وفي هذا الحي الراقى والغالى في أسعاره مات خمسة مواطنين وانهارت مساكن عديدة واندلعت حرائق كثيرة تلتهم المباني بسبب: (١) زيادة الاهتزاز، (٢) تشوه وتميع أساسات الحشوة الصناعية، (٣) البناء الهش للطابق الأرضي في المباني؛ وكل هذه الأسباب أدت إلى انهيار المباني.

وشيدت الكثير من مباني حي مارينا فوق حشوة صناعية (ردم) تكومت فوق أرض رطبة في الخليج لتوسعة مناطق التنمية. ويا للسخرية! لقد كانت معظم الحشوة الصناعية من أنقاض مباني سان فرنسيسكو التي دمرها زلزال ١٩٠٦. وزادت الموجات الزلزالية في ١٩٨٩ في هذه المنطقة ذات الحشوة الصناعية. وحدث تشوه دائم في بعض مناطق الحشوة الصناعية والاستيطان، وتكون الطين في البعض الآخر حين تدفقت المياه الجوفية والرواسب الحرة كالسوائل في عملية الإماعة (الإسالة) (الشكل ٤-٢٦ أ). وتمخضت عملية الإسالة في حي مارينا في ١٩٨٩ عن إفراز قطع من الزجاج وورق القطران وخشب الصنوبر وأنقاض أخرى من حطام سان فرنسيسكو عام ١٩٠٦.

والسبب الرئيسى في انهيار المباني هو خطأ التصميم. ونظرا إلى أن حي مارينا كان مأوى لكثير من المتدفقين على المنطقة؛ فقد كانوا في حاجة إلى مواقف لسياراتهم؛ ولكن أين؟ كانت الشوارع مكتظة ومواقف السيارات تحت الأرض وتحت مستوى سطح البحر؛ فكانت تنضح بالماء. والحل الذى شاع وانتشر كان بإزالة العوائق من الطوابق الأولى للمباني لجعلها مواقف للسيارات. ولسوء الحظ، أدى ذلك إلى

إضعاف الطوابق الأولى. فأين حوائط الحمل الداخلية والدعامات العرضية والدعامات الرأسية اللازمة لحمل الطوابق العليا حتى الطابق الرابع؟ لقد أزيلت، أو ضحى بها المنتفعون لإفساح المجال لتوقيف سياراتهم؛ ولهذا تسطحت المباني بسهولة وأصبحت أقصر دورا (الشكل ٤-٢٦ ب).

الطريق السريع بين الولايات رقم ٨٨٠

كانت أشد المأسى وطأة في زلزال الدورة الرياضية العالمية سحق ٤٢ شخصا أثناء انهيار جزء من الطريق ذي السطحين رقم ٨٨٠ الذى يربط الولايات بعضها ببعض فى أوكلايد (الشكل ٤-٢٧). فالطريق المستوى صمم فى عام ١٩٥١، وافتتح فى ١٩٥٧، وانهار منه قطاع طوله ٢٥, ١ ميلا؛ إذ سقطت ٤٤ كمرة من الخرسانة يزن كل منها ٦٠٠ طن فوق السطح السفلى؛ فحطمت بعض المركبات وضغطتها إلى ارتفاع ١ قدم. وكان القسم الذى انهار مبنيا فوق طبقة طينية رخوة حديثة الترسيب فى خليج سان فرنسيسكو. وللطريق السريع المرتفع رنين طبيعى قدره من ٢ حتى ٤ دورات/ثانية؛ وتعمل أساسات الخليج الطينية على زيادة الهزة فى ذلك المدى إلى ٥ حتى ٨ أضعاف. فآثرت الموجات الزلزالية فى الطين فجعلت البناء الثقيل يترنح بشدة (الشكل ٤-٢٨). وكان القطاع رقم ١ من الطريق رقم ٨٨٠ مبنيا على طبقة من الرمل والحصى أكثر صلابة فظلت سليمة؛ بينما القطاع المبنى على طبقة رخوة من الطين انهار انهيارا كارثيا.

وكانت الأساسات الضعيفة متواطئة مع تصميم البناء الخاطئ. فنقط الاتصال بين الكمرات الحاملة للطريق والدعامات الخرسانية لم تكن مربوطة رباطا جيدا. فبدأت تحدث الشروخ فى نقط الاتصال مسببة انهياراً لأعمدة الحمل الرأسية التى انزلقت واكتسحت مناطق نقط الاتصال فسقط المستوى الأعلى من الطريق فوق مستواه الأسفل (الشكل ٤-٢٩). فهل كان انهيار هذا الجسر مفاجأة؟ لم يكن ذلك حقا. لقد تعلمنا هذه الدروس المستفادة قبل ١٨ سنة فى عام ١٩٧١ من زلزال سان فيرناندو، ولكن أحدا لم يصحح مسار هذه المأساة المرتقبة.

ومن الملاحظات الهامشية الساخرة والقاتلة فى هذه الكارثة ما وقع فى نموذج الفشل؛ إذ كان هناك تأخير بين الهزة الابتدائية والانهيال النهائى، سمح بوقت قصير لبعض الناس للتفكير. فناور البعض بمركباتهم تحت العوارض الأفقية التالية لأعمدة الدعم الرأسية، وخرج البعض الآخر من سياراتهم وترجلوا تحت نفس الأعمدة ظنا منهم أنها أقوى أجزاء البناء. ويا للأساسة لقد كانت أضعف الأجزاء؛ إذ تسبب انهيارها فى أضخم الكوارث، فلم ينج منهم أحد.

زلازل منطقة الخليج - الماضى والمستقبل

والسجل التاريخى لزلازل كاليفورنيا عمره حوالى ٢٢٥ سنة، وكانت السنوات ١٥٠ الأخيرة تقريبا فقط معقولة نسبيا. وهذا السجل التاريخى أقصر من أزمدة تكرار الحركات الكبرى فى معظم الصدوع. غير أن منطقة خليج سان فرانسيسكو، كانت لديها معلومات أوفر ظهرت فى روايات الصحف واليوميات والخطابات الشخصية والمصادر المماثلة لتتضافر جميعها فى وضع سجل تاريخى دقيق إلى حد مقبول عن زلازل القرن التاسع عشر، يختلف اختلافا كبيرا عن سجل تاريخ القرن العشرين. ففى أثناء القرن التاسع عشر كانت الزلازل التى تزيد قوتها عن ٦ أكثر انتشارا (الشكل ٤-٣٠)؛ إذ وقعت سبعة زلازل فى ٧٠ سنة السابقة على زلزال سان فرانسيسكو عام ١٩٠٦، بمعدل زلزال كبير كل عقد. ثم جاءت الحركة الشيطانية لصدع سان أندرياس فى عام ١٩٠٦. وأزال الشق الذى يبلغ طوله ٢٦٥ ميلا كثيرا من إجهاد اللوح التكتونى المخزون فى الصخور بحيث خلت عدة عقود من القرن العشرين بشكل ملحوظ من الزلازل الكبيرة (الشكل ٤-٣١). ولكن الزلازل الكبيرة عادت إلى القسم الجنوبى من منطقة الخليج بدءاً من السبعينيات فى القرن العشرين (الشكل ٤-٣٢). فما هى النماذج المتكررة فى هذه البيانات؟ وهل لها أية أهمية؟

النموذج ١ : زلازل كبيرة شائعة مقابل هزات عملاقة نادرة. فحركة لوح المحيط الهادى مقابل لوح أمريكا الشمالية فى منطقة الخليج تبدو مكثفية بأحد أمرين: إما بزلزال قوته من ٦ حتى ٧ كل عقد تقريبا (القرن التاسع عشر) أو بزلزال قوته ٨ كل قرن

(القرن العشرين). فأى النماذج أفضل لهذا الإقليم ذى الكثافة العالية فى التنمية والسكان؟ (لاحظ أن لنا الخيار). وأى النماذج يسبب أقل عدد من الوفيات والخسائر والضغط النفسى؟ وهل يأتى القرن الحادى والعشرين مثل سابقه: التاسع عشر والعشرين؟

النموذج ٢ : أزواج من الزلازل الشرقية- الغربية (الشكل ٤-٣٠): ففى عام ١٨٣٦ تعرضت أوكلاند لزلازال قوته حوالى ٦,٥ ؛ وأعقب ذلك بسنتين زلازال قوته حوالى ٦,٨ فى شبه جزيرة سان فرنسيسكو. وفى منطقة الخليج الجنوبية، حدث زلازال ضحل بالقرب من سانتا كروز فى عام ١٨٦٥ وأعقبه بثلاث سنوات زلازال قوته حوالى ٦,٩ بالقرب من هايوارد. فهل تتكرر ثمانية الزلازل المزدوجة فى الخليج الشرقى والخليج الغربى؟

النموذج ٣ : تتابع الزلازل نحو الشمال: سبقت الزلازل الكبيرة التى حدثت فى عامى ١٨٦٥ و ١٨٦٨ خمسة زلازل متوسطة تحركت شمالا فى صدع كالافيراس. ويوضح الشكل (٤-٣٢) أربعة زلازل من المتوسطة والكبيرة التى تحركت من الجنوب إلى الشمال فى صدع كالافيراس. فهل يوحى هذا النموذج المتكرر بقدوم زلازال كبير فى صدع هايوارد؟ فهذا الإقليم اليوم ذو كثافة سكانية عالية ومشروعات تنموية كثيرة على جانبى قمم شقوق الصدع فى القرن التاسع عشر. فإذا حدث زلازال مثل زلازال ١٨٦٨ فإن قسم المناجم والجيولوجيا فى كاليفورنيا يتوقع أن يروح ضحيته ٤٥٠٠ نسمة. ويعتمد عدد الوفيات نسبيا على الوقت من اليوم الذى يحدث فيه الزلازال. فما هو أسوء الأوقات لحدوث الزلازال؟ أثناء منتصف يوم العمل والدراسة عندما يكون أكبر عدد من الناس شاغلين المباني القديمة والكبيرة. وما هو أنسب الأوقات لحدوث الزلازال؟ أثناء الليل عندما يكون معظم الناس فى منازلهم ونائمين فى أسرّتهم. وعموما، تتحمل منازل كاليفورنيا هزة الزلازل جيدا.

كوبى فى اليابان فى عام ١٩٩٥ مقابل أوكلاند فى كاليفورنيا فى عام ٢٠٢٢

كوبى فى اليابان فى عام ١٩٩٥ : تضرب الزلازل اليابان كذلك بشدة ولكنها أقل قوة من أحداث الانضواء الكبرى. وأكثر الزلازل إحداثا للخسائر فى التاريخ (خسائر

فى الأموال مقدارها ١٠٠ بليون دولار) ما حدث فى الساعة ٤٦, ٥ صباح يوم ١٧ يناير عندما بدأت حركة صدع نوجيما ذى المضرب المنزلق اليمينى الجانبى التمزق فى كلا الاتجاهين الشمالى الشرقى والجنوبى الغربى فى وقت واحد، مارا بمدينة كوبي (الشكل ٤-٣٣). فالكسر الذى طوله ٥٠ كم (٣٠ ميلا) استغرق ١٥ ثانية ليشقق الأرض ١,٧ مترا (٥,٦ أقدام) أفقيا ومترا واحدا (٣,٣ أقدام) رأسيا. وكانت قوة الزلزال ٦,٩ (Mw) فجعلت بعض مناطق الرواسب الرخوة فى كوبي تهتز بشدة لمدة ١٠٠ ثانية. وكوبي ميناء كبير، يعتبر ثالث الموانئ انشغالا فى العالم. ويتكدس ١٥ مليون مواطن فى حزام ضيق فى المدينة استصلح جزئيا من الخليج بالردم الصناعى. وهذه الرواسب الضعيفة تميّعت (تسيلت) وضعفت أمام الزلزال. ورغم أن كوبي عانت من زلزال قوته ٧ فى عام ١٥٩٦ وزلزال قوته ٦,١ فى عام ١٩١٦ لأسباب غير معروفة، فلم يكن مقدرا لها أن تواجه تهديدا قويا من الزلازل.

وفى زلزال ١٩٩٥ انهارت الكثير من المباني الخشبية القديمة ذات الأسقف من القرميد الثقيل والكمرات العرضية الصغيرة على سكانها النائمين؛ فسببت الكثير من الوفيات البالغ عددها ٦,٣٠٨ نسمة. وتسببت البيوت الخشبية المدمرة فى إشعال أكثر من ١٤٠ حريقا، ولكن لحسن الحظ كان الهواء ساكنا وساعدت قلة الرياح فى مكافحة النيران والسيطرة على الحرائق. غير أن ١٥٢٠٠٠ مبنى دمرت أو حدثت بها خسائر بفعل الزلزال وأجهزت النار على ما يعادل ٧٠ مبنى أمريكيا ضخما. وتلفت مرافق البنية التحتية بشدة مثل الطرق السريعة والسكك الحديدية ومنشآت الموانئ بفعل شبكات المياه والصرف الصحى والغاز والكهرباء التى دمرت. وبالإضافة إلى ذلك استغرق وقت إعادة بناء الاقتصاد عدة سنوات، وزادت ضحايا الانتحار وجرائم الزنا وتناول المسكرات.

وشملت الأبنية المنهارة الكبارى الضخمة والطرق السريعة المعلقة وأعمدة رفع السكك الحديدية. وينهج اليابانيون فلسفة بناء الأعمدة والدعامات الضخمة لتتحمل الهزات الأرضية أسوة بأشجار البلوط (الشكل ٤-٣٤). وبعد انتشار هذه الانهيارات على نطاق واسع زادت قناعتهم اليوم بفلسفة الولايات المتحدة فى البناء عند تصميم أعمدة تتأرجح عند الاهتزاز أسوة بالقصبة.

أوكلاند في كاليفورنيا في ٢٠٢٢ : من المهم أن نقارن زلزال كوبي بالزلزال الناتج على القسم الشمالى من صدع أوكلاند (الشكل ٤-٣٣). فكلا الشقين يبلغ طوله حوالى ٥٠ كم ويمر خلال موانى كبرى ومناطق عمرانية كثيفة السكان بها مناطق واسعة من رواسب الخليج والردم الصناعى المدكوك والضعيف، ومن المناطق التى تأثرت كثيرا منطقة الخليج الشرقى (محافظات كونترا كوستا والميدا)، التى يسكنها ٢,٢٥ مليون نسمة. وتحرك صدع هايوارد فى عمق ١٢ كم بمعدل ٩ ملليمترات/سنة ولكن الشق الأخير فى الصخرة العلوية على طول هذا القسم من الصدع حدث فى عام ١٨٢٦. وتقدر نسبة احتمال حدوث زلزال قوته ٧ قبل عام ٢٠٢٠ فى هذا القسم من الصدع الذى طوله ٥٠ كم/ بنسبة ٢٨٪. أما بالنسبة لإقليم خليج سان فرنسيסקو المشترك ففرصة حدوث زلزال آخر بحجم زلزال لوما بريتا على الصدع مارا بالمنطقة السكنية قبل عام ٢٠٢٠ تبلغ ٦٧٪.

وفى القسم الشمالى من صدع هايوارد من المتوقع أن يبدأ الشق فى نهايته الشمالية ويتحرك جنوبا لمدة ٢٢ ثانية مع انزلاق مترين (٦ أقدام) ممتد لأسفل حوالى ١٢ كم (٨ أميال). والحركة التالية لصدع هايوارد مثل زلزال كوبي فى ١٩٩٥ ستؤدى إلى خسائر فى الأموال تقدر بعشرات البلايين من الدولارات ووفيات تقدر فى مجموعها بالآلاف.

كيف تعمل الصدوع

النظرية القديمة

ظل الشرح شائعا لكيفية تحرك الصدوع منذ ظهور نظرية الارتداد المرن فى أعقاب زلزال سان فرنسيסקو فى عام ١٩٠٦. وبناء على قياسات الناجين من الزلزال للأرض على طول صدع سان أندرياس، يبدو أن إجهادات الأرض تسبب تشوها وحركة على كلا جانبي الصدع (الشكل ٤-٣٥ أ و ب). وعلى أية حال، لم تتحرك الصخور على طول الصدع ذاته استجابة للإجهاد؛ نظرا إلى أنها خشنة وغير منتظمة

مما يؤدي إلى تعشقها (تداخلها) الشديد عند الاحتكاك الأمر الذي يعوق الحركة. ولكن نظرا إلى أن الكتل اليابسة البعيدة عن الصدع تستمر في الحركة فإن تجمع الإجهاد على طول الصدع يصبح فائق القوة بحيث يؤدي في النهاية إلى كسر الصخور عند الصدع ويتحرك كلا الجانبين سريعا إلى الأمام ليلحق حتى ويسبق الصخور البعيدة عن الصدع (الشكل ٤-٣٥ ج). وبعد حركة الصدع يزول كل الإجهاد من المنطقة ويبدأ إجهاد آخر جديد في التجمع. وتشبه نظرية الارتداد المرن العض على شريط من المطاط أو الطرق على أوتار قيثار: فهي تنطبق حتى على الصدمات التابعة. وظلت هذه النظرية سائدة لمدة ٩٠ سنة وورد ذكرها في معظم الكتب. ولا تزال سارية بصفتها أول اقتراب من الحقيقة، حتى ظهرت فكرة أفضل في السنوات القليلة الأخيرة.

الفكرة الأحدث

وأفضل تصور للحركة على طول الصدع هو نافذة الفرص. إذ تبدأ حركة الصدع في البؤرة ثم تنتشر للخارج لمسافة معينة ووقت محدد. وتعتمد كمية الإجهاد المنطلق في الزلزال على عدد الثواني التي يتحركها الصدع. فمثلا، إذا كان هناك إجهاد قدره ١٢ مترا لم ينطلق على امتداد قسم من الصدع واستغرق الشق المار من المقدمة إلى النهاية وقتا كافيا لإحداث حركة مقدارها ٦ أمتار فقط، فإن نصف الإجهاد فقط هو الذي انطلق. وربما فتح الحدث المماثل بوابة مغلقة أمام طابور طويل من الناس. فإذا ظلت البوابة لفترة كافية لدخول نصف عدد الطابور ثم أغلقت، تعين على بقية الواقفين في الطابور أن ينتظروا حتى تفتح البوابة في وقت لاحق. وذلك هو التطوير المهم لنظرية الارتداد المرن. وتقول النظرية إنه بعد حدوث زلزال كبير يزول معظم الإجهاد عن الصخور ويلزم الأمر مرور وقت مناسب لتجميع الإجهادات حتى مستوى عال مرة ثانية. ولم نعد نعتقد في صحة ذلك.

وهناك طريقة أخرى لتصور فكرة حركة الصدع، وذلك بتصور عملية فرد سجادة كبيرة مطوية لتغطي أرضية مسرح. وقصرت السجادة عن تغطية الأرضية حتى الحائط البعيد بمقدار قدم واحد. فلا تستطيع أن تسحب السجادة لتغطي هذا

القدم، لأن السجادة لن تتحرك نظرا لشدة الاحتكاك. وعلى أية حال، إذا جعلت السجادة تتموج موجة كبيرة ودفعت هذه الموجة فوق سطح الأرضية استطعت أن تدفع السجادة إلى الحائط البعيد. ويمكن للصدوع أن تسلك نفس المنهج. فربما انزلق جزء بسيط من الصدع مشكلا موجة تركز طاقة مرنة في طرفها المتقدم. وكلما مرت الموجة أبعد كان الزلزال أكبر. وربما تواجه الموجة المتحركة مقادير مختلفة من الإجهاد الذي لم ينطلق في مختلف مناطق الصدع.

لاندرز في كاليفورنيا، في ١٩٩٢

ويزودنا زلزال لاندرز في عام ١٩٩٢ بتأمل جديد في كيفية عمل الصدوع. بدأت سلسلة هذا الزلزال في ٢٢ أبريل بالحركة اليمينية الجانبية لزلزال جوشوا تظهر بقوة ٦,١ (الشكل ٤-٣٦). واستؤنفت الحركات اليمينية الجانبية للصدع بعد شهرين في الساعة ٤,٥٨ من صباح يوم ٢٨ يونيو بزلزال لاندرز بقوة ٧,٥. وتشير التحاليل التفصيلية للسجلات الزلزالية إلى أن الصدع لم يتحرك بأكمله في نفس الوقت؛ وبدلاً من ذلك انزلقت قطع صغيرة شمالاً على شكل جبهة أو نبضة. وفي موقع واحد محدد استغرق انزلاق الصدع حوالي ٠,٢ حتى ٠,٣ ثانية؛ ولكن حركة الصدع الإجمالية كانت مدتها ٢٣ ثانية. وتحركت جبهة الكسر من الجنوب إلى الشمال بسرعة ٢,٥ كم/ثانية (٥٦٠٠ ميل/ساعة).

وهناك دروس جديدة أو جيدة بصفة خاصة تعلمناها من زلزال لاندرز. (١) اختلف مقدار الانزلاق على طول الصدوع وتراوح بين القطع الصغيرة التي تحركت بضع سنتيمترات فقط والمناطق الأخرى التي انزلق فيها الصدع عدة أمتار. (٢) ظهر أن الزلزال فجر زلازل أخرى بعيداً في شمالي نيفادا وفي شمالي كاليفورنيا ويوتا وبيبلو ستون بارك في يومينج. (٣) ينظر الناس عادة إلى حركات الصدع على أنها قاصرة على صدع واحد وبحركة تتوقف عند طيات كبيرة (درجات). وعلى أية حال، ففي هذه السلسلة من الكسور بدأت الحركة عندما تمزق الصدع شمالاً حوالي ٢٠ كم (١٢ ميلاً)، ثم قفزت مقدمة الكسر على التوالي شرقاً على الصدوع المجاورة واستمرت

تتحرك ٥٠ كم (٢٠ ميلا) أخرى حتى توقفت فى منتصف آخر الصدوع المتأثرة. ولحسن الحظ بالنسبة لمدينة لوس أنجلوس الضخمة أن تنطلق أقوى الموجات الزلزالية من أبعد الصدوع، فينطلق أكبر قدر من الطاقة الزلزالية شمالا نحو الصحراء النادرة السكان.

وبعد بضع ساعات انطلق زلزال ثالث متأثرا بالزلازلين السابقين. وفى الساعة ٨,٠٤ من صباح يوم ٢٨ يونيو جاء زلزال الدب الأكبر بقوة ٦,٦ من حركة يسارية جانبية امتد تمزقها شمالا نحو مركز تمزق الأرض فى لاندريز. وتشكل الكسور فى زلازل يوم ٢٨ يونية مثلثا مع صدع سان أندرياس كقاعدة له (الشكل ٤-٣٦). وعملت حركات الصدوع هذه على سحب مثلث من القشرة بعيدا عن صدع سان أندرياس، وبذلك تقلل من الضغط التى تجعل صدع سان أندرياس متماسكا وتمنعه من الانزلاق.

صدع جنوبى سان أندرياس

هل يوشك زلزال كبير على الحدوث فى صدع جنوبى سان أندرياس؟ حدثت زلازل عام ١٩٩٢ بالقرب من الجافة الشمالية لقسم وادى كوتشيللا من صدع سان أندرياس. وفى عام ١٩٨٨ كانت نسبة احتمال حدوث زلزال فى هذا القسم من الصدع قوته ٧,٥ قبل عام ٢٠١٨ تقدر ٤٠٪ (الشكل ٤-٢٢). فهل زادت نسبة الاحتمال هذه بفعل زلازل عام ١٩٩٢؟ نعم.

وتشير التحاليل التكتونية الحديثة إلى أن الزلازل الأربعة الكبرى الأخيرة فى قطاع وادى كوتشيللا حدثت بفواصل زمنى قدره ٢٥٠ عاما؛ كان أحدثها فى عام ١٦٨٠ تقريبا أى منذ حوالى ٣٢٠ سنة. ومنذ عام ١٩٨٦ حدثت ستة زلازل كبرى على كلا طرفى هذا القطاع من الصدع (الشكل ٤-٣٦). وهو مشابه للنموذج الذى حدث فى شمالى كاليفورنيا قبل زلزال سان فرانسيسكو الكبير فى ١٩٠٦.

فماذا يحدث لو أن الحركة المرتقبة فى قطاع وادى كوتشيللا لم تكن زلزالا قوته ٧,٥ يقف عند طيته الشمالية (الشكل ٤-٣٦)؟ وماذا يحدث لو أنه فجر حركة قطاع

جبال سان بيرناردينو؟ فالقوة الموحدة كانت تبلغ حينئذ حوالى ٧,٨ وكسر الصدع كان يمر خلال مناطق كثيفة السكان مثل سان بيرناردينو. وماذا كان يحدث لو أن الحركة استمرت شمالا وانكسر بالتالى قطاع موجافى؟ كانت القوة الموحدة للزلازل تتجاوز حينئذ ٨.

فهل هذا التوقع المذكور أعلاه معقول أم أنه مجرد حدث يبيث الرعب؟ وقطاع وادى كوتشيللا الذى انكسر مؤخرا فى عام ١٦٨٠ تقريبا له زمن تكرار يبلغ حوالى ٢٥٠ عاما وتراكم فيه ٦ أمتار من الإجهاد الذى لم ينطلق. وقطاع جبال سان بيرناردينو الذى انكسر مؤخرا فى عام ١٨١٢ له ٤,٣ أمتار على الأقل من الإجهاد الذى لم ينطلق. وقطاع موجافى الذى انكسر مؤخرا فى عام ١٨٥٧ له زمن تكرار يبلغ حوالى ١٢٠ عاما وله على الأقل ٤,٧ أمتار من الإجهاد الذى لم ينطلق. والكسر فى كل هذه القطاعات الثلاثة فى زلازل واحد افتراض مقبول عقلا. وصدع سان أندرياس فى شمالى كاليفورنيا انكسر فى ثلاثة قطاعات متماثلة فى زلازل سان فرنسيسكو عام ١٩٠٦.

حاشية جانبية: التنبؤ بالزلازل القصيرة المدى

معلوماتنا عن الزلازل مثيرة للدهشة تماما. فبالألواح التكتونية نستطيع أن نعرف لماذا وأين تقع وخاصة على طول حواف الألواح. وتحليل النظرية التكتونية الحديثة نستطيع أن نعرف حجم وعدد الزلازل التى تحدث فى أى صدع. وعلى أية حال، لا يقتنع كثير من الناس بذلك، بل يريدون تطبيق نفس نماذج التنبؤ القصير المدى بالزلازل مماثلا للتنبؤ اليومى بأحوال الطقس. وكم نحن قريبون من إعطاء التنبؤ القصير المدى بالزلازل؟ ولسنا وثيقى الصلة بنظرية قابلة للتطبيق؛ كما أنه يبدو أن الطبيعة التفصيلية لظواهر الصدوع ليست قابلة للتنبؤ بها بما يسمح لنا بالتنبؤ بالزلازل على المدى القريب. وهناك نظريات للتنبؤ بالزلازل تبدو منطقية؛ ولا تزال تتداولها الكتب والبحوث، ولكن ثبت أنها جميعا خاطئة. فالعلم عملية تتطلب براعة فائقة. وربما لم تحظ الأفكار الجميلة بمادة تشكها. وربما لم تحظ النظريات بصلاحية التطبيق. فالحقيقة سراب خادع.

وجمهور الناس الشغوفين بالتنبؤ القصير المدى بالزلازل يشتمل على كثير من السذج. ففي عام ١٩٧٧ قال تشارلز ريختر: «إن رجال الصحافة وعامة الناس يندفعون وراء أية فكرة تتنبأ بالزلازل اندفاع الخنازير إلى حوض ملائ. فالتنبؤ أرض خصبة للهواة والتزقين والدجالين الساعين بدون تحفظ إلى الشهرة». وقد يتعلق الراغبون في التنبؤ بحبل واه. المثال الأول: كثير من الدعاية المثيرة المبالغ فيها التي شاعت حول أشعار التنبؤ التي نشرها الدكتور الفرنسي ميشيل دي نوتردام (نوستراداموس) والعبارات الغامضة المفاهيم التي صاغها يصدقها بعض الناس اليوم في التنبؤ بالزلازل في هذه الأيام. وعلى قدر ما فيها من فظاعة تبدو نبوءات بالحقائق لنوى العقول المضطربة الذين لا يستطيعون تمييز الحقيقة من الخيال.

والمثال الثاني: في باكورة العقد التاسع من القرن العشرين حدث زلزال توقعه رجل اقتصاد يدعى ابن براونينج وهو يحتضر إذ قرر أن يملأ آخر أيامه بالإثارة الشخصية عندما تنبأ بزلزال كبير يقع في وسط الولايات المتحدة مشابها للزلازل التي وقعت في عامي ١٨١١ و ١٨١٢ (انظر الفصل الخامس). وتبين للعلماء أن تنبؤاته مبنية على نظرية قديمة فاشلة؛ ولكن إحدى الصحف غير المشهورة ووسائل الإعلام الإلكترونية أقامت حفلا ساهرا للتغطية العاطفية أمام حشد من أطقم التلفاز ومراسلي الصحف الذين توافدوا على نيومديرد في ميسوري يتوقعون بشغف وقوع الزلزال الذي لن يحدث.

والمثال الثالث: خرجت طليعة مزيفة وكأنها تعترف لحنا على البوق عندما تنبأت هيئة المساحة الجيولوجية في الولايات المتحدة بوقوع زلزال قوته ٦ في صدع سان أندرياس بمنطقة باركفيلد (انظر الشكل ٤-١٢ منتصف يسار الصفحة اليمنى) بناء على النموذج التاريخي لظاهرة الزلازل. ووقعت في باركفيلد ٦ زلازل تتراوح قوتها من ٥.٥ حتى ٦ في الفترة التاريخية - في ١٨٥٧ و ١٨٨١ و ١٩٠١ و ١٩٢٢ و ١٩٣٤ و ١٩٦٦. وباستثناء زلزال ١٩٣٤ يبدو أن هناك نموذجا لزلزال يقع كل ٢٢ سنة. وتوقع علماء هيئة المساحة الجيولوجية في الولايات المتحدة أن يحدث الزلزال التالي في عام ١٩٨٨ بإضافة أو بإنقاص خمس سنوات. وعلى ذلك أدت تجربة التنبؤ بزلزال في باركفيلد إلى نشر شبكة لم يسبق لها مثيل من الأجهزة في الميدان مدعومة بجماعات

كبيرة من العلماء الجاهزين لتفسير جميع تفاصيل الزلزال المرتقب في يناير ١٩٩٣. ثم وقعت الواقعة - فحدث الزلزال كما كان متوقعا.

فما هو مفهومنا الحالى لإمكانية توقع حركات فى الصدوع؟ أولا، ليس هناك سبب يبرر لماذا تحدث عملية كسر الصدع بأى نظام. وثانيا، رغم أن النظر إلى الإنذارات بالزلازل ليس ميثوسا منه، فإن الأمر يتعلق بإثارة الزلازل أكثر من التفسير البسيط للتحميل المنتظم للإجهادات على الصدوع التى تتمزق على شكل زلازل ذات خصائص معينة ومتساوية البعد الزمنى بينها. والقول الفصل لكل شخص هو أن التنبؤ بالزلازل على المدى القصير ليس واردا؛ فلتمض فى تخطيط حياتك على هذا الأساس. فلتنظم بيتك ومكتبك لتتحمل أقوى الزلازل احتمالا فى منطقتك، ثم لا تشغل ذهنك بمتى يقع الزلزال.

زلازل صدع الدُسُر فى جنوبى كاليفورنيا

والمنطقة ذات الصدوع الخطيرة فى جنوبى كاليفورنيا أوسع من منطقة خليج سان فرنسيסקو (الشكل ٤-١٢)؛ وهذا يرجع فى الغالب الأعم إلى أن الصدع الكبير المحدد للوح (سان أندرياس) مطوى (متدرج) إلى الغرب، ويجعل من الصعب على لوح المحيط الهادى أن ينزلق مقابله فى حركته نحو الشمال الغربى. وتسبب التقلص فى «الثنية الكبرى» إلى التمزق الطولى فى شرائح، انشقت جنوبى كاليفورنيا إلى شبكة معقدة من الصدوع. وتتجه الكثير من هذه الصدوع شمالا بغرب بتفرعات يمينية جانبية معبرة عن اتجاه حركة لوح المحيط الهادى.

هذا بالإضافة إلى أن هناك فئة من الصدوع النشطة تكونت فى جنوبى كاليفورنيا ضاغطة على «الثنية الكبرى» فى صدع سان أندرياس. ومعظم هذه الصدوع صدوع دسرية(*)

(*) صدع الدُسُر thrust fault صدع ذو زاوية ميل صغيرة ينشأ من الضغط الشديد الذى يؤدى إلى تحرك علوى للجدار المعلق بالنسبة للجدار السفلى. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

متجهة شرقا وغربا (صدوع معكوسة) (*) حيث تتحرك ألواح الصخر الأفقية (الجدار العلوى) فوق أسطح الصدوع المائلة وبهذا تضيق الوديان وترتفع الجبال. ونظرا إلى أن كثيرا من هذه الصدوع الدسرية لا تصل إلى سطح الأرض، فهي تسمى بصدوع الدسر الخفية (**). وتبلغنا قياسات الأقمار الصناعية لحركات الأرض باستخدام نظام التطابق الكونى أن إقليم لوس أنجلوس يحدث فيه ضمور تضاعفى قدره من ١٠ حتى ١٥ مم/سنة. ويمكن للتشوه المقاس أن يحدث زلزالا متوسط قوته ٦ كل ٦ سنوات بالإضافة إلى زلزال قوته ٧ كل ١٠ سنوات.

نورثريدج فى كاليفورنيا فى عام ١٩٩٤

كان يوم الإثنين الموافق ١٧ يناير عام ١٩٩٤ عطلة بمناسبة ذكرى ميلاد مارتين لوثر كينج الابن. ولكن فى الساعة ٤,٣١ صباحا عصف زلزال قوته ٦,٧ (Mw) بأحلام معظم سكان منطقة لوس أنجلوس البالغ عددهم ١٢ مليون نسمة. وتمزق واحد من صدوع الدسر المتعددة التى تقع تحت وادى سان فيرناندو وهو صدع بيكو الخفى على عمق ١٩ كم (١١,٨ ميلا) وتحرك ٣,٥ أمتار شمالا عندما كان يدفع إلى أعلى سطح الصدع المائل إلى الجنوب (الشكل ٤-٣٧). وتعرضت نورثريدج ومدن أخرى تقع فوق لوح الصدع الذى يتحرك إلى أعلى (الجدار العلوى) لبعض الهزات الأرضية التى لم يسجل أشد منها حتى الآن. فزاد التسارع الأرضى حتى بلغ ١,٨ جاذبية (١٨٠٪ من الجاذبية) أفقيا، و١,٢ جاذبية رأسيا. (وعندما يبلغ التسارع الرأسى ١,٠ ج تندفع إلى أعلى الأشياء الموضوعة على الأرض بدون رباط) وتسببت شدة هذه الهزة فى انهيار واسع النطاق فى المباني والكبارى (الشكل ٤-٣٨)، وقتل فيها ٦١ شخصا وأصيب أكثر من ٩٠٠٠ جريح وبلغت الخسائر المادية ٢٠ مليار دولار. وشملت الخسائر تعطل

(*) صدع معكوس reverse fault صدع يميل فيه سطح الصدع نحو جانب المرمى العلوى وينتج من الضغط. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

(**) صدوع الدسر الخفية blind thrusts صدوع لا تصل إلى السطح. (المترجم)

أعظم شبكة طرق عالمية وتسببت في العديد من المشكلات للسائقين (الشكل ٤-٣٩). وفي مجال الوفيات يعتبر الزلزال خفيف الوطأة نظرا لحدوثه في الصباح الباكر؛ وتشير التحاليل للمباني المنهارة إلى أن الخسائر في الأرواح كانت تقدر بحوالى ٣,٠٠٠ نسمة لو حدثت الهزة أثناء ساعات العمل.

كان زلزال نورثريدج في ١٩٩٤ مشابها لزلزال سان فيرناندو في ١٩٧١ الذي كانت قوته ٦,٥ وراح ضحيته ٦٧ شخصا (انظر الفصل الثالث). ففي ١٩٧١ كانت الحركة فوق صدع دسرى يميل شمالا ويرتكز على صدع خفى تحرك في ١٩٩٤ (الشكل ٤-٣٧).

وتوحى القياسات لتشوه الأرض في إقليم لوس أنجلوس المقدرة بالأقمار الصناعية أثناء القرن العشرين كانت تقع بالمنطقة زلازل بقوة ٦ بنصف المعدل المرتقب فقط وزلازل بقوة ٧ بثلاث نموذج المدى الطويل. وربما كانت زلازل ١٩٧١ و ١٩٩٤ نذيرا بالمزيد من الزلازل النشيطة في القرن الحادى والعشرين. وتزيد حوادث الوفيات والدمار التى وقعت فى عدة زلازل قوتها من ٦,٥ حتى ٧ فى مدينة لوس أنجلوس عن المشكلات التى أحدثتها زلازل قوتها ٨ أو أكثر على صدع سان أندرياس على بعد من ٥٠ حتى ١٠٠ كم. وعلى أية حال، ظل ٣ مليون نسمة فى منطقة سان بيرناردينو يذكرون بالاهتمام الشديد أحداث زلزال وقع فى منطقتهم قوته ٨ أو أكثر بسبب المرور المباشر لصدع سان أندرياس خلال أسوار منازلهم.

الزلازل الشديدة

كثيرا ما نسمع حديثا عن الزلزال الكبير عند ذكر مخاطر زلازل كاليفورنيا. فما عساها أن تكون هوية الزلزال الكبير؟ من الممكن أن يكون أحدث من الوفيات والخسائر أكثر مما يتوقع الكثيرون. وتركز التقديرات لمخاطر الزلازل فى لوس أنجلوس تماما على نظامين منفصلين من الصدوع. (١) صدع سان أندرياس المار على طول الجانبين الشرقى والشمالى للمدينة الضخمة، حيث وقعت فيها أخيرا حركات كبرى،

فى عامى ١٨١٢ و ١٨٥٧ (الشكل ٤-٤٠ أ). (٢) صدوع الدسر المتجهة شرقا وغربا التى سببت زلازل سان فيرناندو فى ١٩٧١ ونورثريدج فى ١٩٩٤. والمقارنة الواقعية بزلزال منغوليا توضح لنا أسوأ الأحوال المتوقعة الحدوث فى لوس أنجلوس. ففى منغوليا عام ١٩٥٧ تحرك صدع مضرب منزلق كبير مطلقا طاقة قوتها ٨ فى الوقت الذى تحركت فيه مجموعة صدوع دسرية بأحداث قوتها ٧ (الشكل ٤-٤٠ ب). ونظرا للتشابه فى حساب المثلثات فى أنظمة الصدع بين منغوليا ولوس أنجلوس. فمن المناسب أن نتصور الزلازل الكبير على أنه يماثل زلازل ١٨٥٧ و ١٩٧١ و ١٩٩٤ التى حدثت فى وقت واحد. ويحار العقل عند تصور الخسائر المتعلقة بالزلازل الكبير.

موجز

ترجع أسباب تكرار معظم الزلازل فى غربى أمريكا الشمالية إلى الألواح التكتونية. فلووح أمريكا الشمالية المتحرك غربا ركب مركز انتشار المحيط الهادى على طول معظم كاليفورنيا. والانتشار المستمر إلى الجنوب فصل باجا كاليفورنيا عن اليابسة فى المكسيك، حتى صارت باجا كاليفورنيا وسان دييجو ولوس أنجلوس وسانتا كروز الآن راكبة فوق لوح المحيط الهادى ومتحركة نحو ألاسكا بسرعة ٥,٦ سم/سنة. ولا يزال الانتشار يحدث إلى الشمال قبالة الساحل من أقصى شمالى كاليفورنيا وأوريجون وواشنطن وجنوبى بريتيش كولومبيا. واتصل مركزا الانتشار المنفصلان بصدع تحويلى طويل - صدع سان أندرياس. وتشمل زلازله زلزالا قوته ٨,٣ سببه شق طوله ٢٢٥ ميلا فى وسط كاليفورنيا فى عام ١٨٥٧ وآخر قوته ٨ بسبب شق طوله ٢٦٥ ميلا يمر خلال إقليم خليج سان فرنسيكو فى عام ١٩٠٦ وغيره قوته ٧,١ انطلق من شق طوله ٢٥ ميلا بالقرب من سانتا كروز فى عام ١٩٨٩.

ويرجع السبب فى أكبر الزلازل التى وقعت على طول غربى أمريكا الشمالية إلى الانضواء تحت القارة. فزلزال ألاسكا ذو القوة ٩,٢ الواقع فى عام ١٩٦٤ حدث بسبب انضواء لوح المحيط الهادى وزلزال مكسيكو سيتى ذو القوة ٨,١

الواقع فى عام ١٩٨٥ حدث بسبب انضواء لوح كوكاس. وأحدثت الألواح المنضوية تحت أوريجون وواشنطن زلزالا قوته ٩ فى يوم ٢٦ يناير ١٧٠٠ وسيحدث ذلك ثانية فى المستقبل.

وترجع أسباب معظم الخسائر فى الأرواح والأموال إلى مشكلات فى البناء. ففي سان فرانسيسكو فى عام ١٩٠٦ انهارت المباني الضعيفة البناء غير المدعمة وخاصة ما بنى منها فوق أساسات من الدكة الصناعية. وحدثت أعظم الخسائر من حرائق استمرت يومين ونصف مشتعلة دون تدخل من رجال الإطفاء الذين عجزوا عن مكافحة الحرائق بسبب الزلزال الذى حطم أنابيب المياه المدفونة تحت الأرض. وفى مكسيكو سيتي فى عام ١٩٨٥ أدت موجات القص فى مدة ١-٢ ثانية إلى اهتزاز الرواسب الطينية الراكدة فى قاع البحيرة القديمة واهتزاز المباني ذات ٦ حتى ١٦ طباقا بنفس معدل التردد ١-٢ ثانية. وأدى رنين الموجات الزلزالية والأساسات المكونة من الرواسب الطينية والمباني العالية إلى حدوث عدد من الانهيارات الكارثية.

وربما أمكن تفسير ظاهرة الزلازل فيما قبل التاريخ باستخدام رواسب البرك التى تكونت فى الصدوع. فمقدار التشققات فى طبقات الرواسب يتناسب طرديا مع قوة الزلزال. ويمكن تحديد تواريخ المادة العضوية فى الطبقات الرسوبية بقياس كمية الكربون المشع الباقى. وقد استخدمت هذه التقنيات فى التنبؤ بنسبة احتمال ٣٠٪ لحدوث زلزال قوته ٦,٥ فى منطقة لومبا بريتا فى عام ٢٠١٨. وفى عام ١٩٨٩ حدث زلزال قوته ٧,١.

وتنوعت أعداد وأحجام الزلازل فى إقليم خليج سان فرانسيسكو. ففي القرن التاسع عشر وقعت زلازل قوتها من ٦,٥ حتى ٧ بمعدل زلزال كل عقد؛ وفى القرن العشرين ذاع صيت زلزال قوته ٨ فى عام ١٩٠٦. وهناك نموذج آخر زواج الزلازل على الجانبين الغربى والشرقى للخليج مثلما حدث بين عامى ١٨٣٦-١٨٣٨ وبين عامى ١٨٦٥-١٨٦٨.

ولم يكن لجنوبى كاليفورنيا نصيب متوقع من الزلازل الكبيرة. فالقطاع الجنوبى من صدع سان أندرياس هو الوحيد الذى لم يقع به كسر طويل فى الزمن التاريخى.

وفى زمن ما قبل التاريخ، كان ينشق كل ٢٥٠ سنة فى المتوسط، ولكن أكبر حركة حدثت مؤخرا كانت فى عام ١٦٨٠.

وأحدثت الدرجة اليسارية الكبيرة فى صدع سان أندرياس فى منطقة لوس أنجلوس كسورا تضاغطية على طول صدوع الدسر المتجهة شرقا وغربا مثل كسر سان فيرناندو فى ١٩٧١ وكسر نورثريدج فى ١٩٩٤. وهذا النمط من الزلازل سوف يستمر حدوثه.

مصطلحات للمذاكرة

blind thrust	صدع دَسْر خفى لا يصل إلى السطح
coal	فحم
friction	احتكاك
global positioning system (GPS)	نظام التتابع الكونى
liquifaction	تميع - إسالة
neotectonics	الألواح التكتونية الحديثة
paleoseismology	علم الزلازل القديمة
photosynthesis	التمثيل الضوئى
slurry	طين - ردغ
thrust fault	صدع دسر

أسئلة للمراجعة

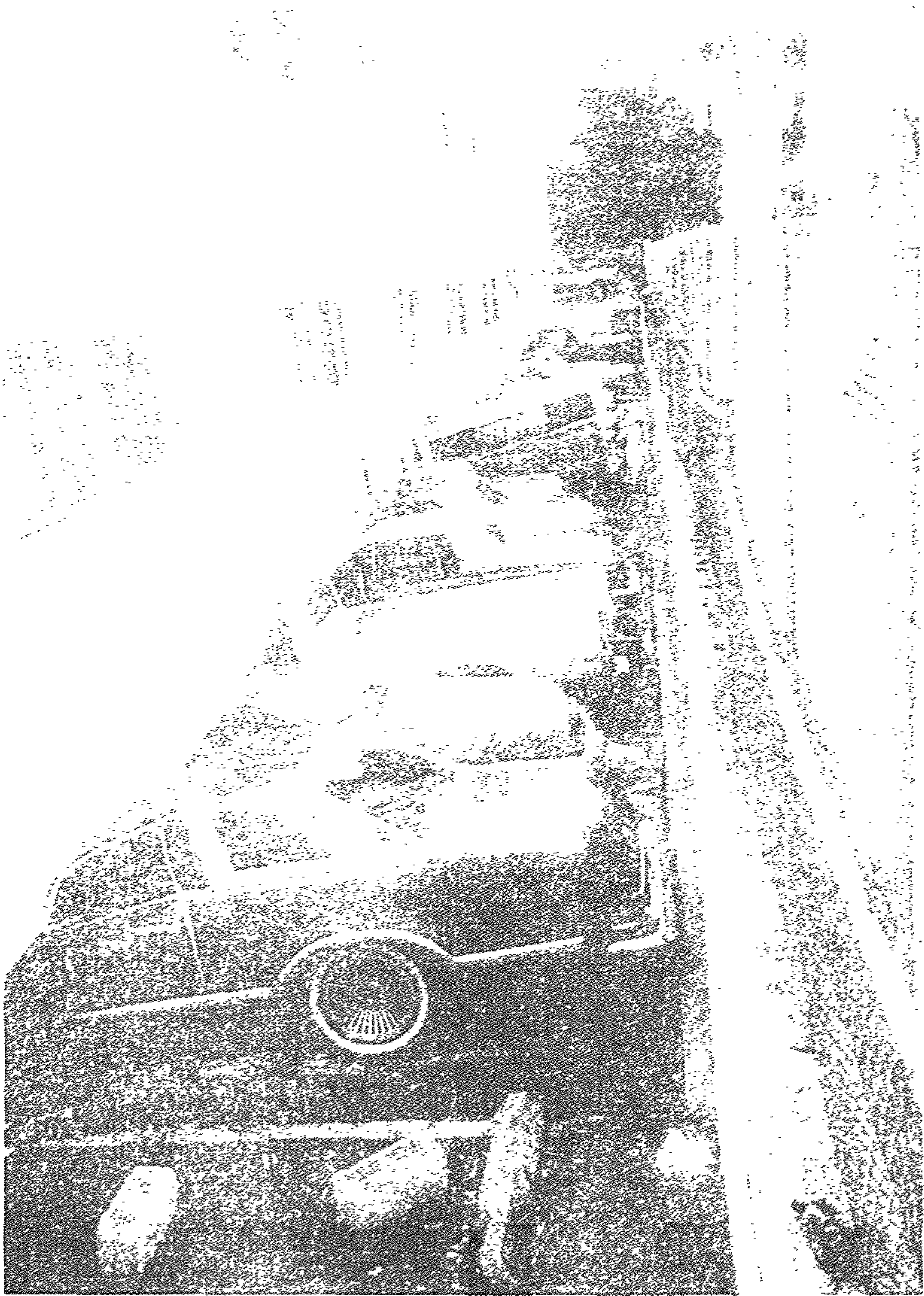
١ - ارسم مخططا لخريطة الألواح التكتونية على طول الساحل الغربى لأمريكا الشمالية من ألاسكا حتى المكسيك، وضع أسماء مراكز الانتشار ونطاقات الانضواء والصدوع التحويلية. وضع أسماء أكثر الزلازل احتمالا للحدوث على طول المنطقة الساحلية.

- ٢ - إذا استمرت معدلات انتشار قاع البحر الحالية. فماذا يمكن أن يحدث لباجا كاليفورنيا وسان دييجو ولوس أنجلوس وسانتا كروز؟
- ٣ - أى قسم من الولايات المتحدة يقع فى عرض حوض المحيط؟ قيّم تهديد الزلازل هناك.
- ٤ - ارسم مخططا وشرح نظرية الارتداد المرن فى الصدع. وكيف تم تعديل هذه النظرية فى السنوات الأخيرة.
- ٥ - ما هو طول الشقوق السطحية فى زلزال سان فرانسيسكو فى ١٩٠٦ وزلزال فورت تيجون فى ١٨٥٧؟ وما هى أقصى تشققات للسطح أثناء كل زلزال؟
- ٦ - قيّم مخاطر الزلازل فى القطاعات المقفلة من الصدع مقابل القطاعات الزاحفة منه.
- ٧ - قيّم الثغرة الزلزالية فى صدع سان أندرياس جنوبى سان فرانسيسكو.
- ٨ - ارسم قطاعا مقطوعيا وشرح كيف يمكن استخدام رواسب برك الصدوع فى التعرف على قوة وتكرار الزلازل القديمة.
- ٩ - ما هى العناصر التى تتضافر لتسبب الرنين فى مكسيكو سيتي الذى كان فتاكا فى زلزال عام ١٩٨٥؟
- ١٠ - ارسم مخططا لحي مارينا (سان فرانسيسكو) السكنى وشرح لماذا انهار كثير من المباني فيه أثناء زلزال لوما بريتا فى عام ١٩٨٩.
- ١١ - ارسم قطاعا مقطوعيا لصدع دسر خفى مثل ذلك الذى ألحق أضرارا بنورثريدج فى عام ١٩٩٤. ولماذا كانت الهزة الأرضية فى ذلك الزلزال بهذه الشدة؟
- ١٢ - ما هى العادة أسوأ الأوقات فى اليوم يضرب فيها زلزال كبير مدينة فى غربى الولايات المتحدة؟

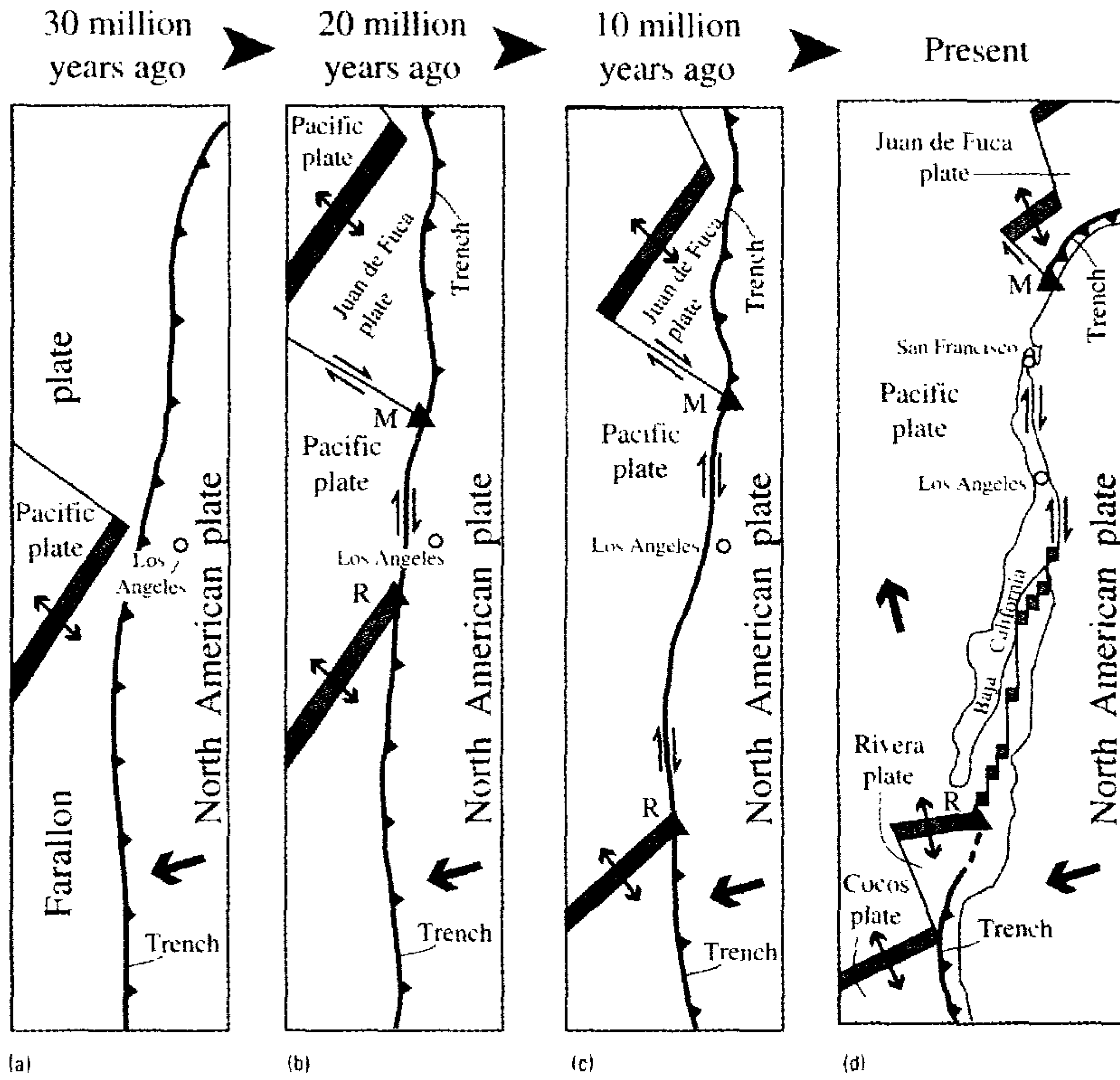
أسئلة لمزيد من التأمل

- ١ - ما يقال له العنصر النفسى شاع استخدامه فى وسائل الإعلام عن توقع انفصال كاليفورنيا على طول صدع سان أندرياس وغرقها تحت البحر. فهل هذا يمكن أن يحدث؟ ولماذا لا يحدث؟
- ٢ - أى ولايات من الولايات المتحدة تقع على لوح المحيط الهادى؟
- ٣ - أى خيار أفضل للمنطقة السكنية: زلزال قوته من ٦.٥ حتى ٧ كل ١٥ سنة أم زلزال قوته ٨ كل قرن؟
- ٤ - لماذا يزيد اتساع منطقة الصدوع النشطة فى جنوبى كاليفورنيا أكثر من شمالها؟
- ٥ - إذا حدث زلزال قوته ٩ فى نطاق الانضواء فى كاسكاديا قبالة الساحل الشمالى الغربى للمحيط الهادى، فماذا يحدث فى سياتل وبورتلاند ومواقع ساحلية أخرى؟

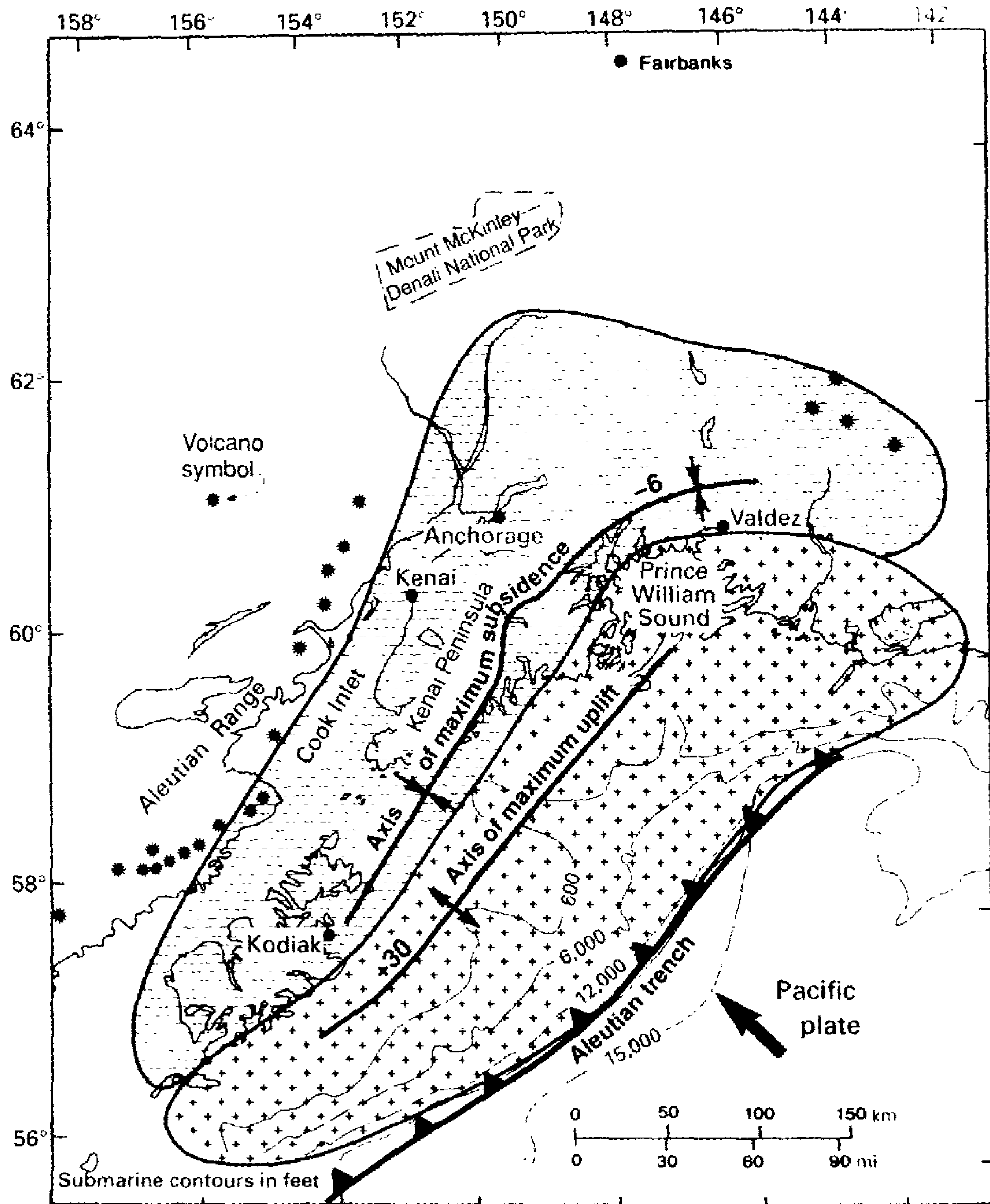
أشكال الفصل الرابع



الشكل (١-٤) مبنى سكنى منهار فى كانوجا بارك فى كاليفورنيا فى يوم ١٧ يناير عام ١٩٩٤.
تداعى المبنى جانبيا فوق السيارات الواقفة فى ساحة الانتظار.

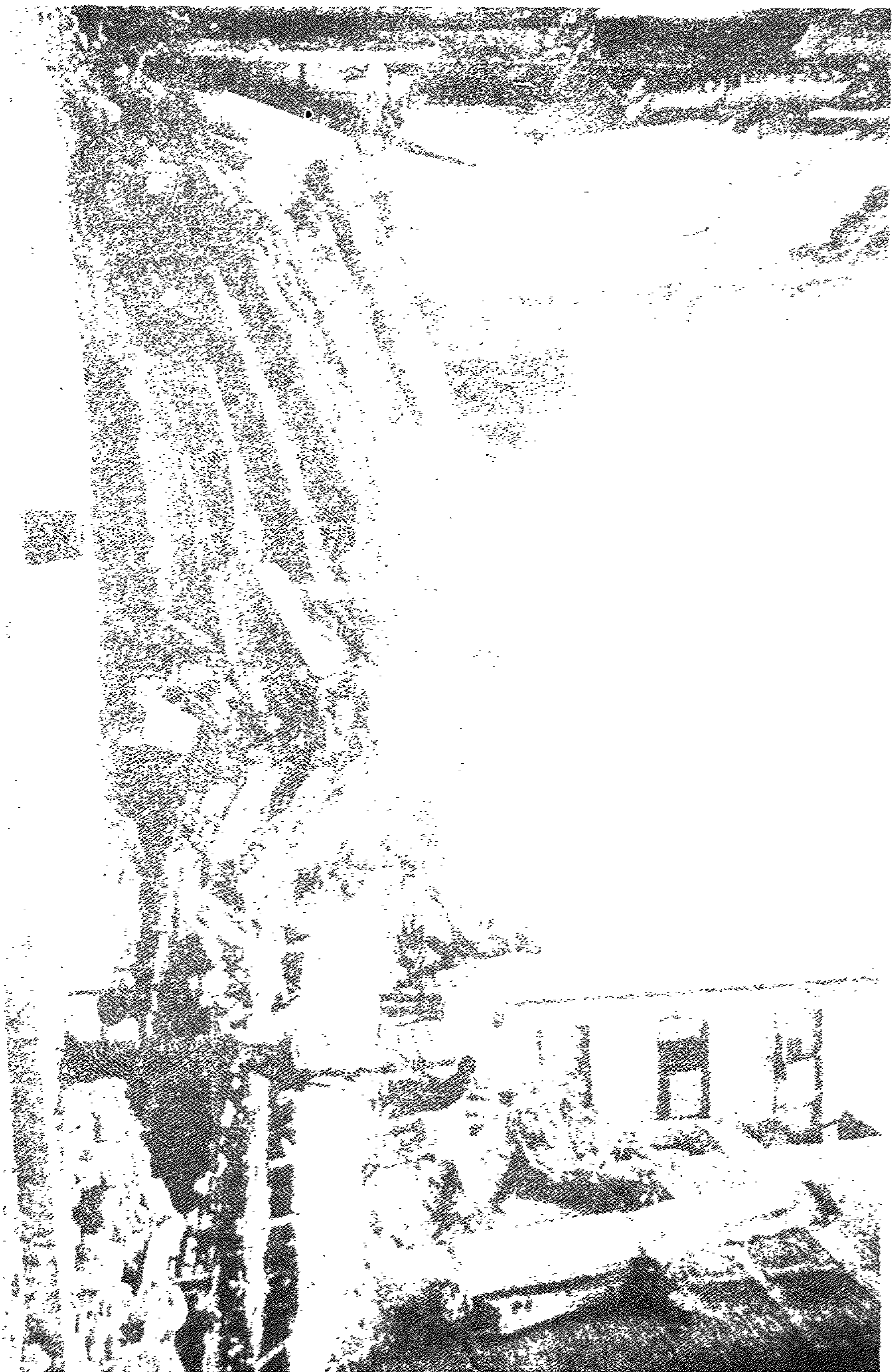


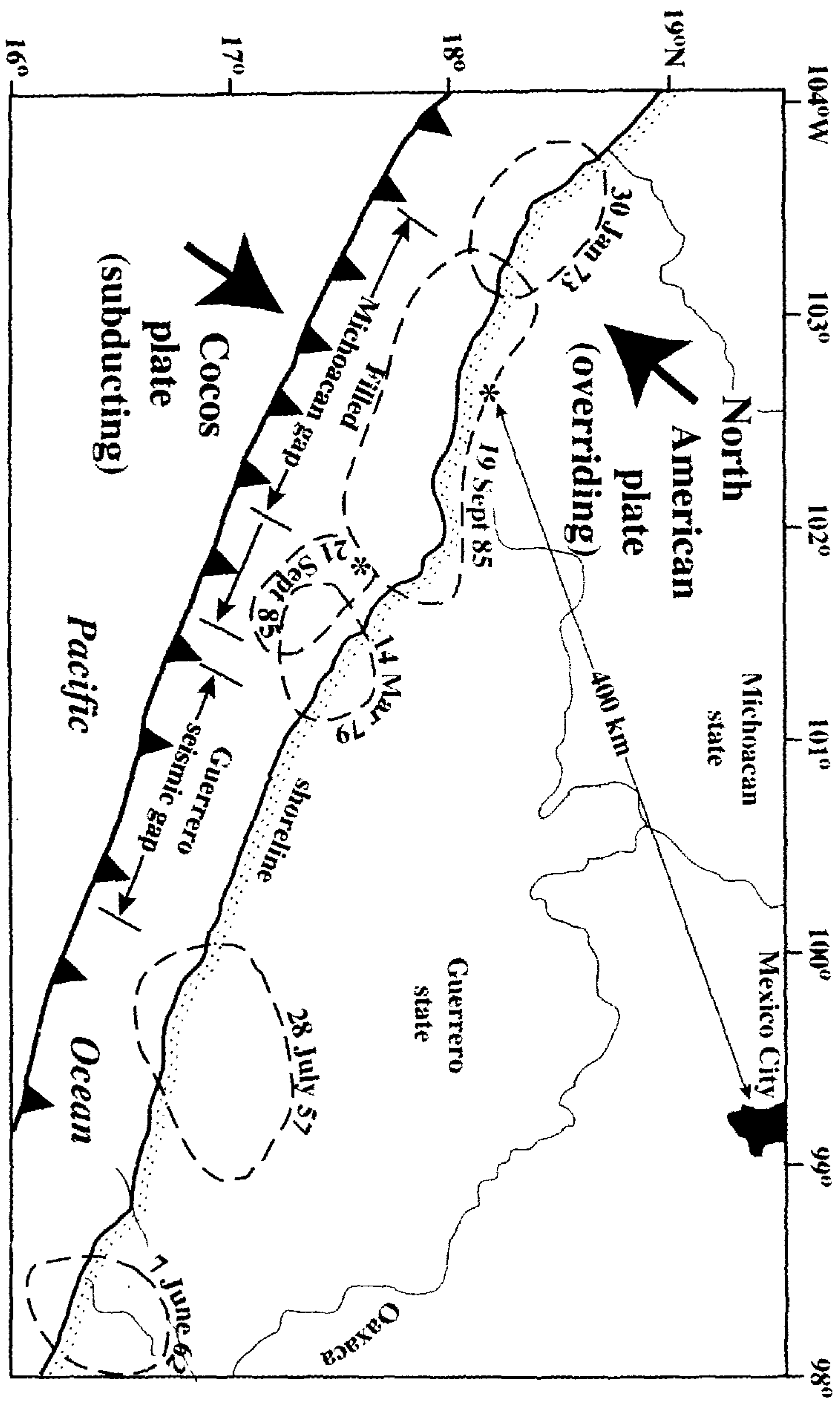
الشكل (٢-٤) تصادم مركز انتشار حوض المحيط الهادى بلوح أمريكا الشمالية: (أ) منذ ٣٠ مليون سنة - يقترب قطاع مركز الانتشار الأول من جنوبى كاليفورنيا، (ب) منذ ٢٠ مليون سنة - الصدع التحويلى المتنامى يتصل بمراكز الانتشار الباقية، (ج) منذ ١٠ ملايين سنة - تستمر نقط التلاقى الثلاثية فى مندوسينو (M) وريفيرا (R) فى التحرك شمالا وجنوبا على التوالي، (د) الوقت الحالى - يعرف الصدع التحويلى الطويل الآن بصدع سان أندرياس. وهذه التفسيرات مبنية على دراسات تانيا أتووتر.



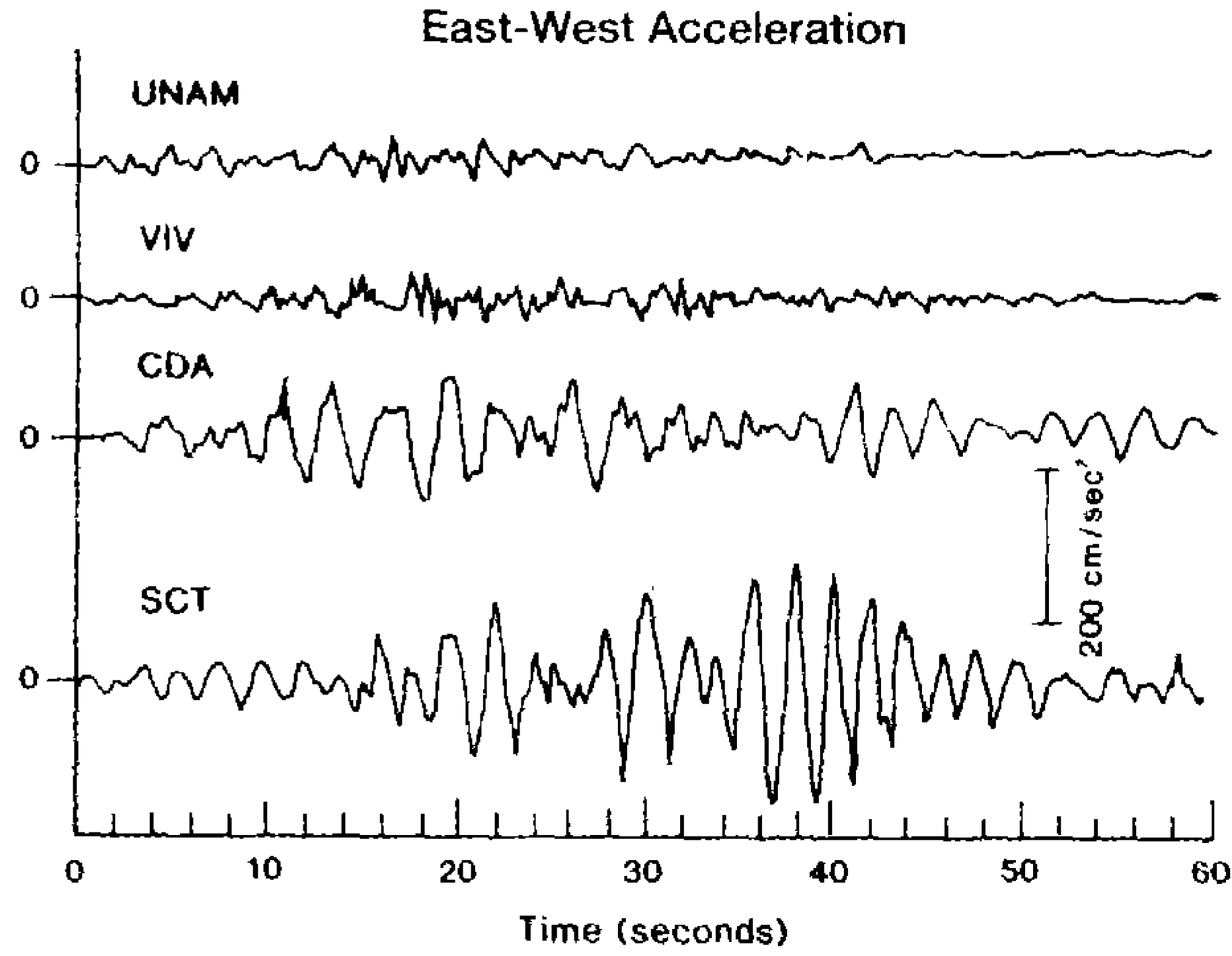
الشكل (٤-٣) خريطة توضح الأرض التي ارتفعت والأرض التي هبطت أثناء زلزال ألاسكا في ١٩٦٤.

الشكل (٤-٤) مبنى ذو سبعة طوابق مشيد من الخرسانة الثقيلة في مكسيكو سيتي ينهار مثل الفطيرة.

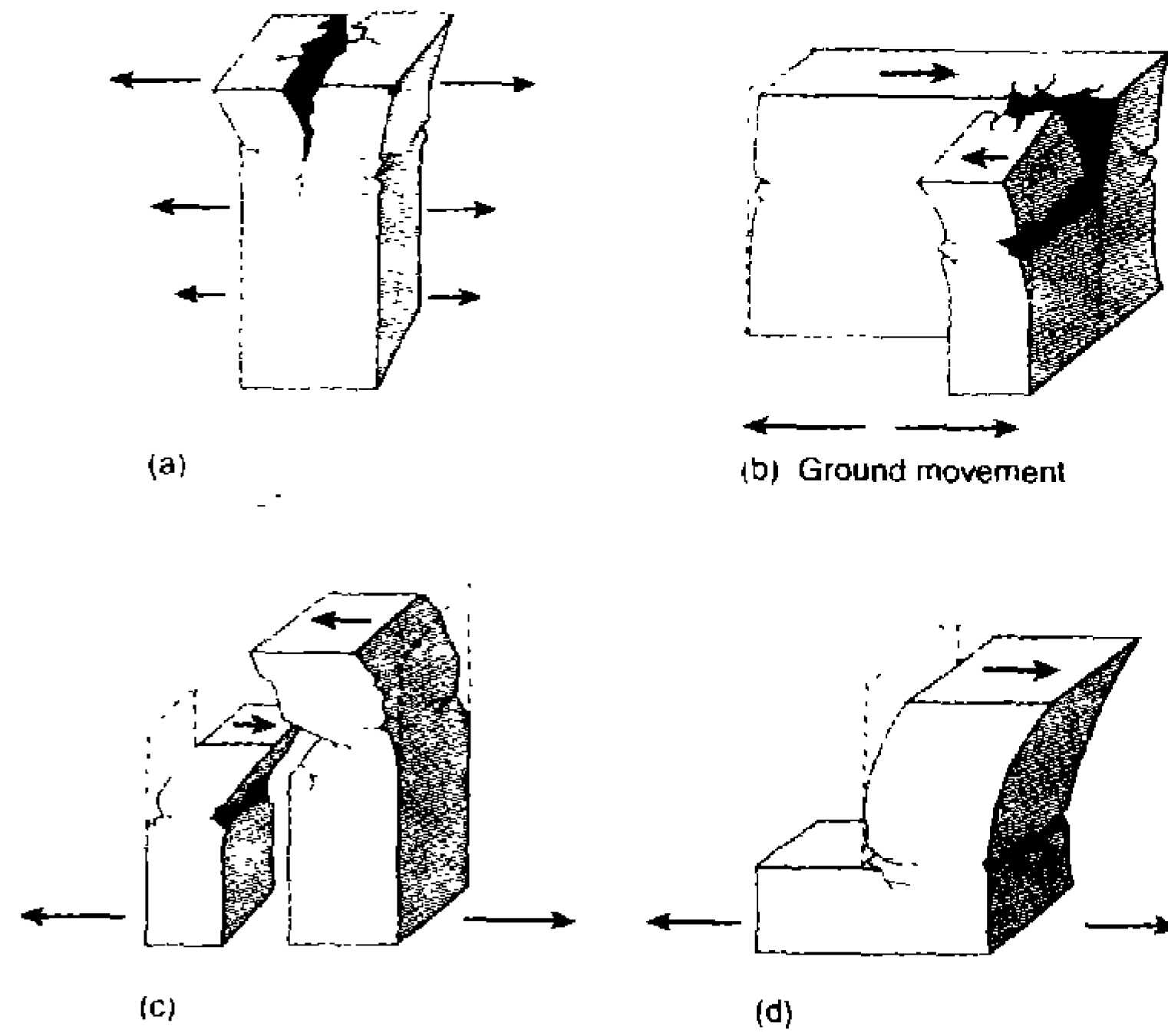




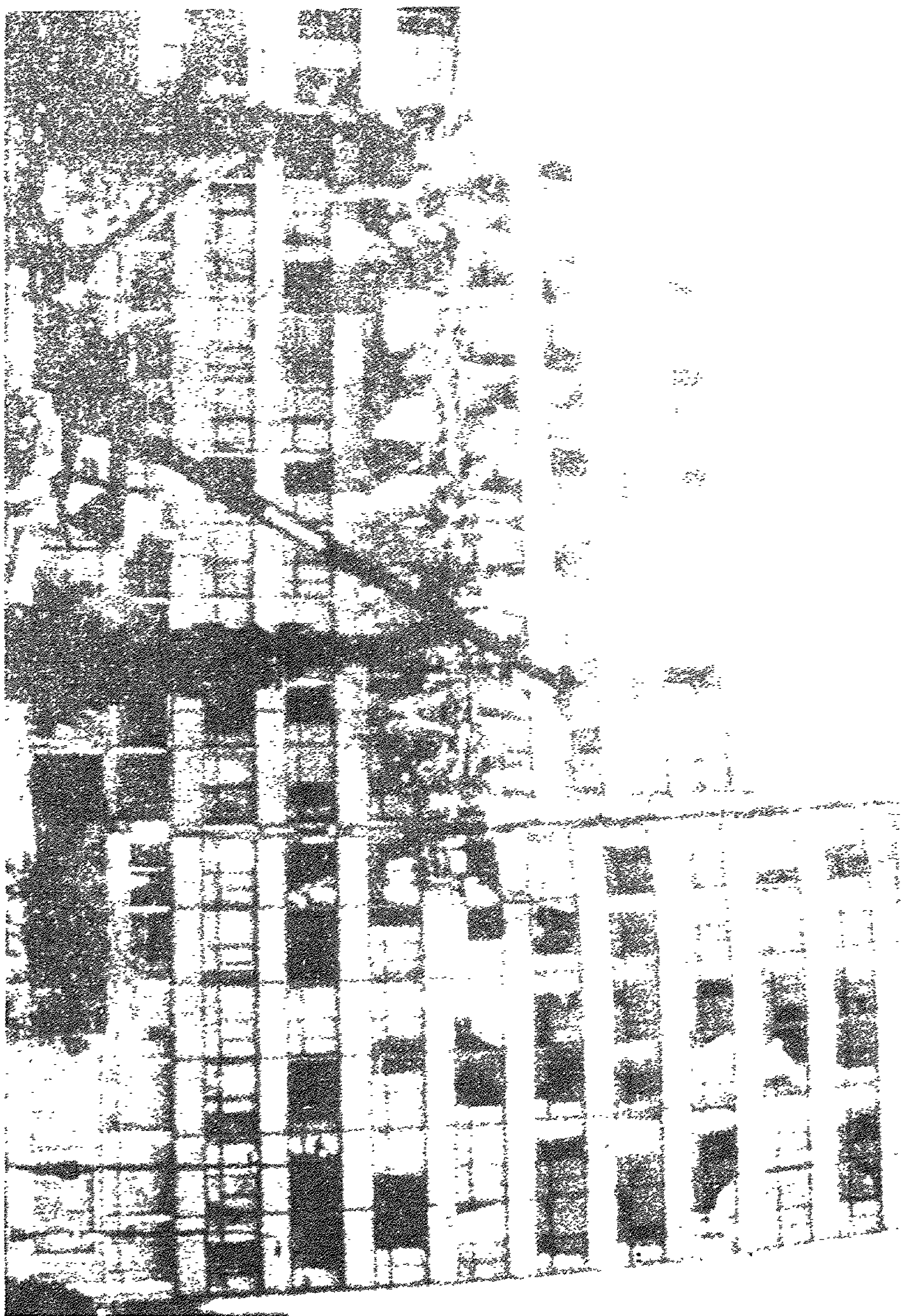
الشكل (٥-٤) خريطة الساحلية موضحة عليها تواريخ الزلازل ومناطق الصدوع التي تحركت (الخطوط المشروطة) أثناء أحداث انضواء لوح كوكاس. وقد امتلأت ثغرة ميكواكان الزلزالية بزلزال عام ١٩٨٥. وتأخر موعد ثغرة جيريرو الزلزالية في حركة كبيرة.



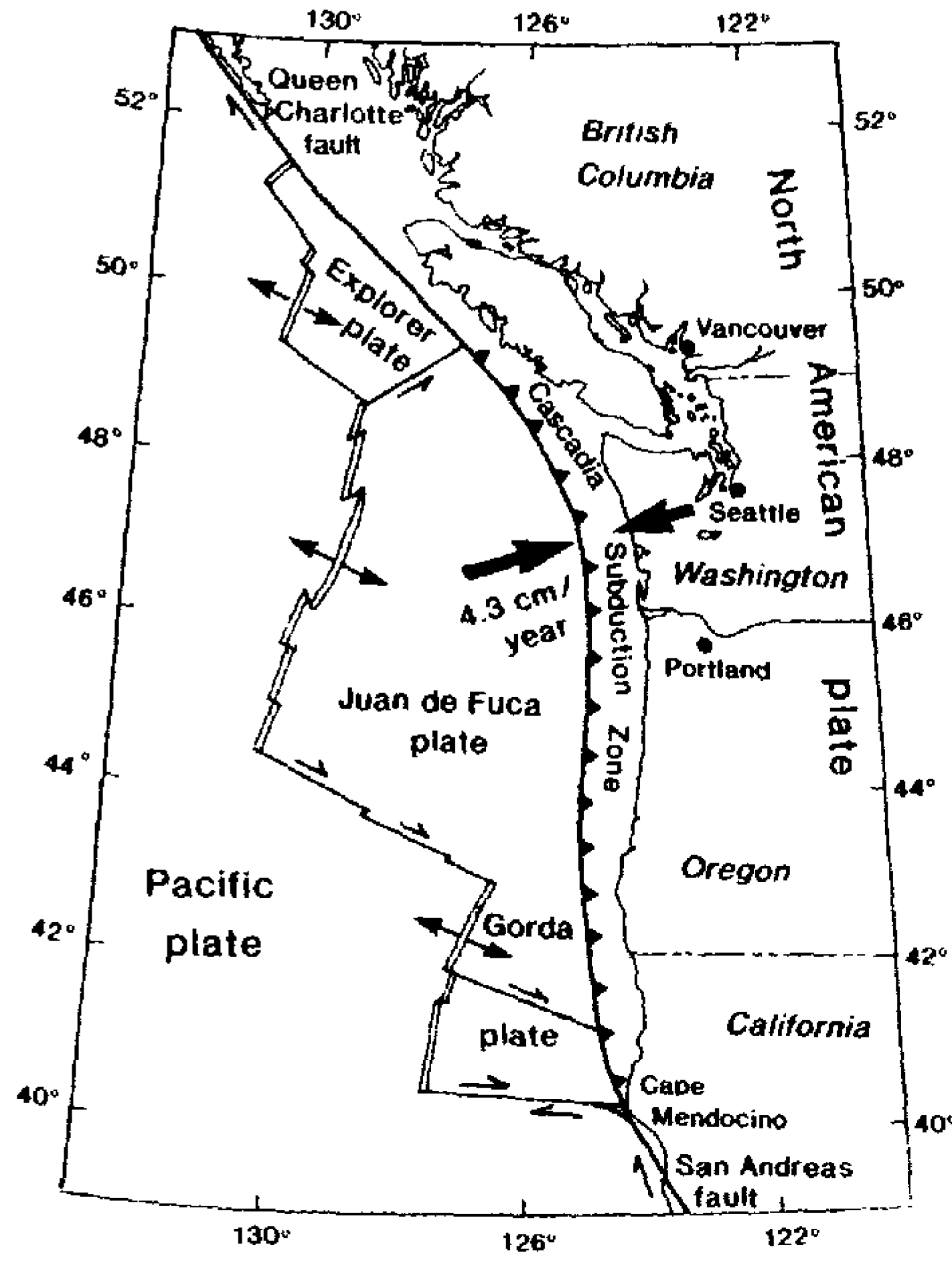
الشكل (٦-٤) بعض التسارعات الشرقية والغربية المسجلة في مكسيكو سيتي في عام ١٩٨٥. وتقع محطة الأرصاد الجامعية الوطنية في المكسيك **UNAM** على تل صخري صلد وتلقت تسارعات صغيرة. وتقع وزارة النقل والمواصلات **SCT** على رواسب بحيرة رخوة ضخمت الموجات الزلزالية.



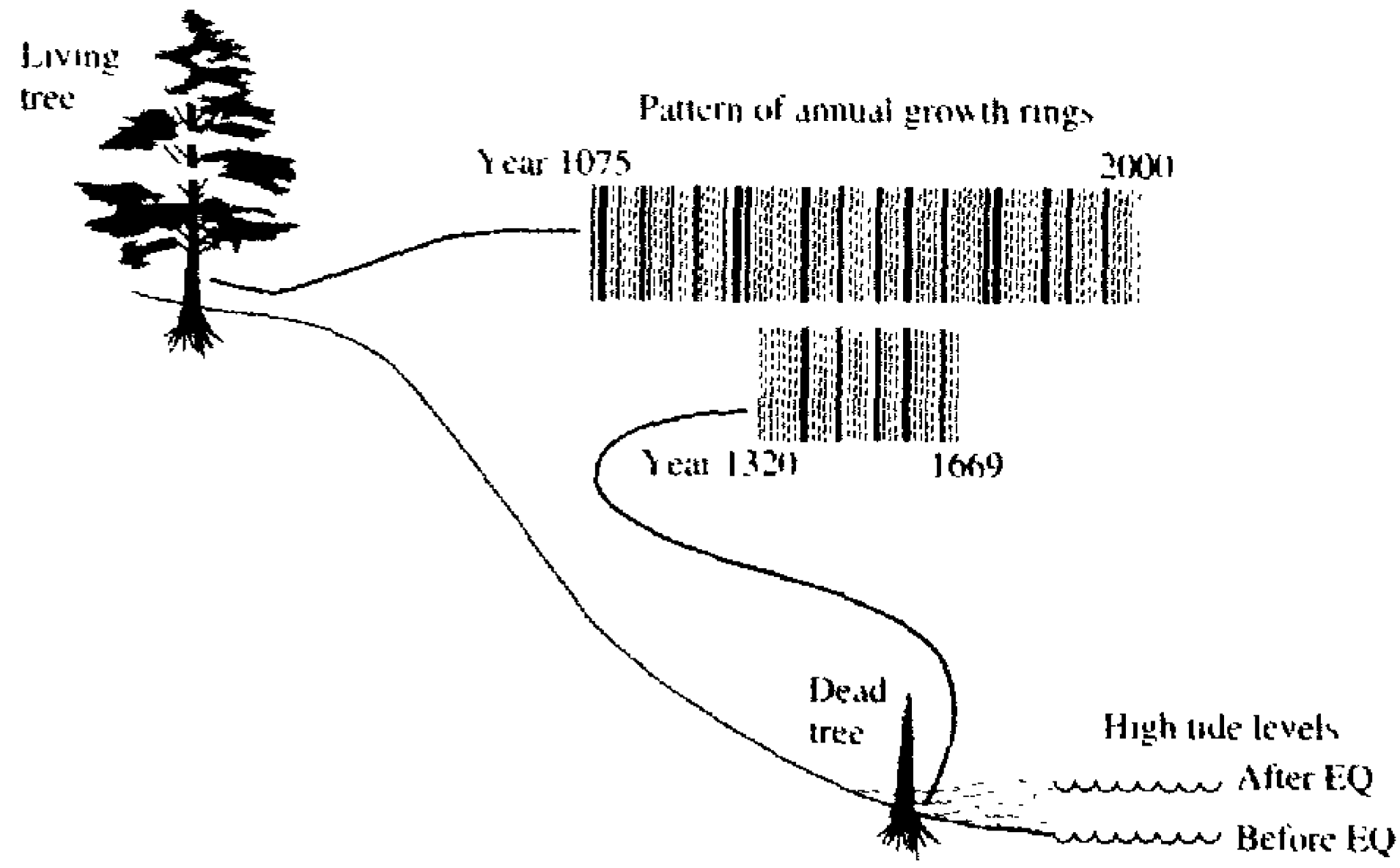
الشكل (٧-٤) بعض مشكلات الاستجابة في المباني أثناء زلزال مكسيكو سيتي. (أ) يزيد اتساع الاهتزاز في أعلى المبنى. (ب) تعاني المباني ذات المحور الطويل العمودي على حركة الأرض من اهتزاز أكثر. (ج) تتأرجح المباني ذات الارتفاعات المختلفة بترددات مختلفة ويرتطم بعضها ببعض. (د) المبني ذو الارتفاعات المختلفة يميل إلى التمزق.



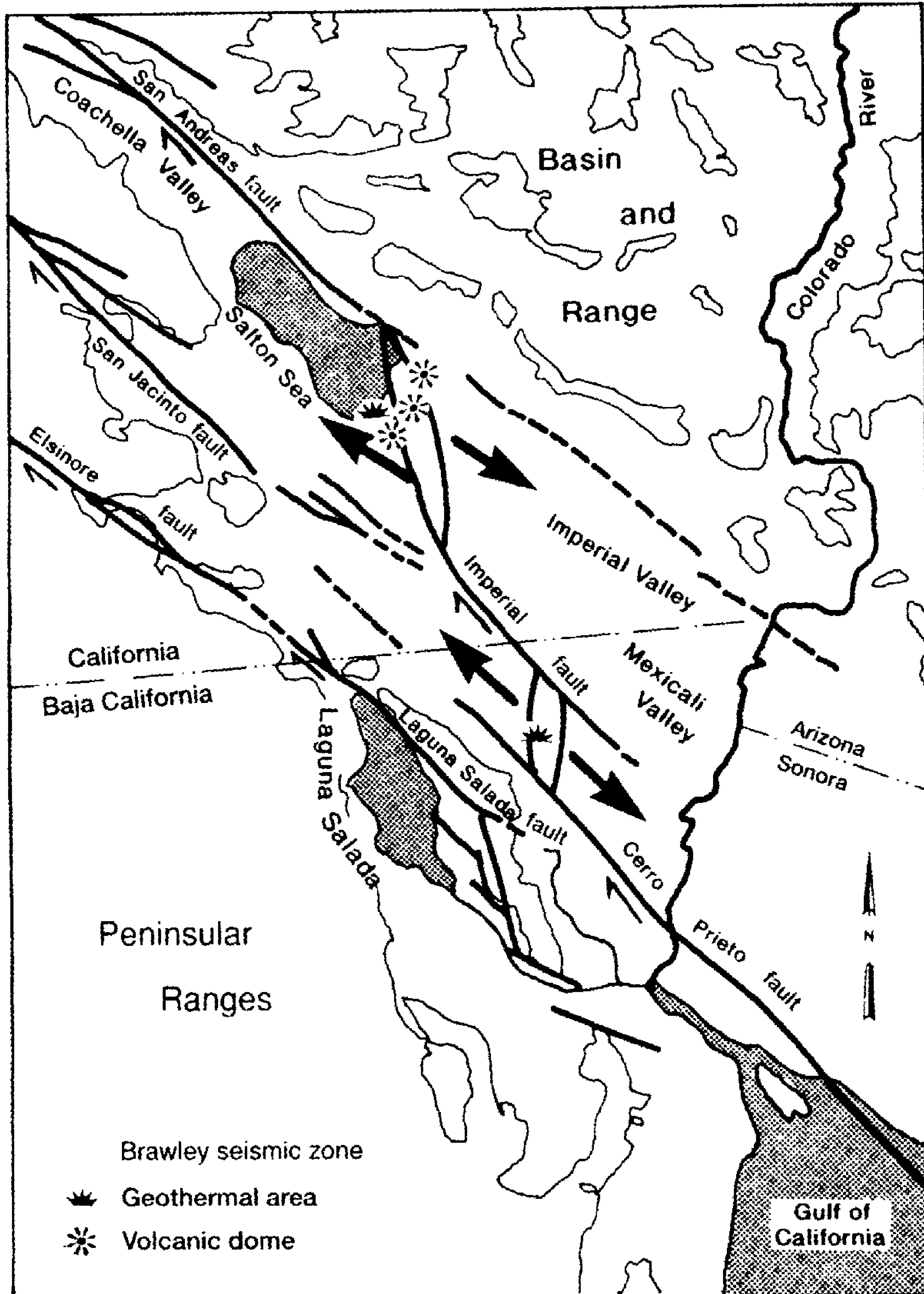
الشكل (٨-٤) خسائر زلزال مكسيكو سيتي. المبنى ذو الطوابق الأربعة ارتطم عدة مرات بالمبنى الأعلى لفندق دي كارلو (المبنى الأوسط) مسبباً انهياراً للطوابق الوسطى (انظر الشكل ٤-٧ج). وتكبد المبنى الذي في اليمين كذلك خسائر بالطرق من فندق دي كارلو.



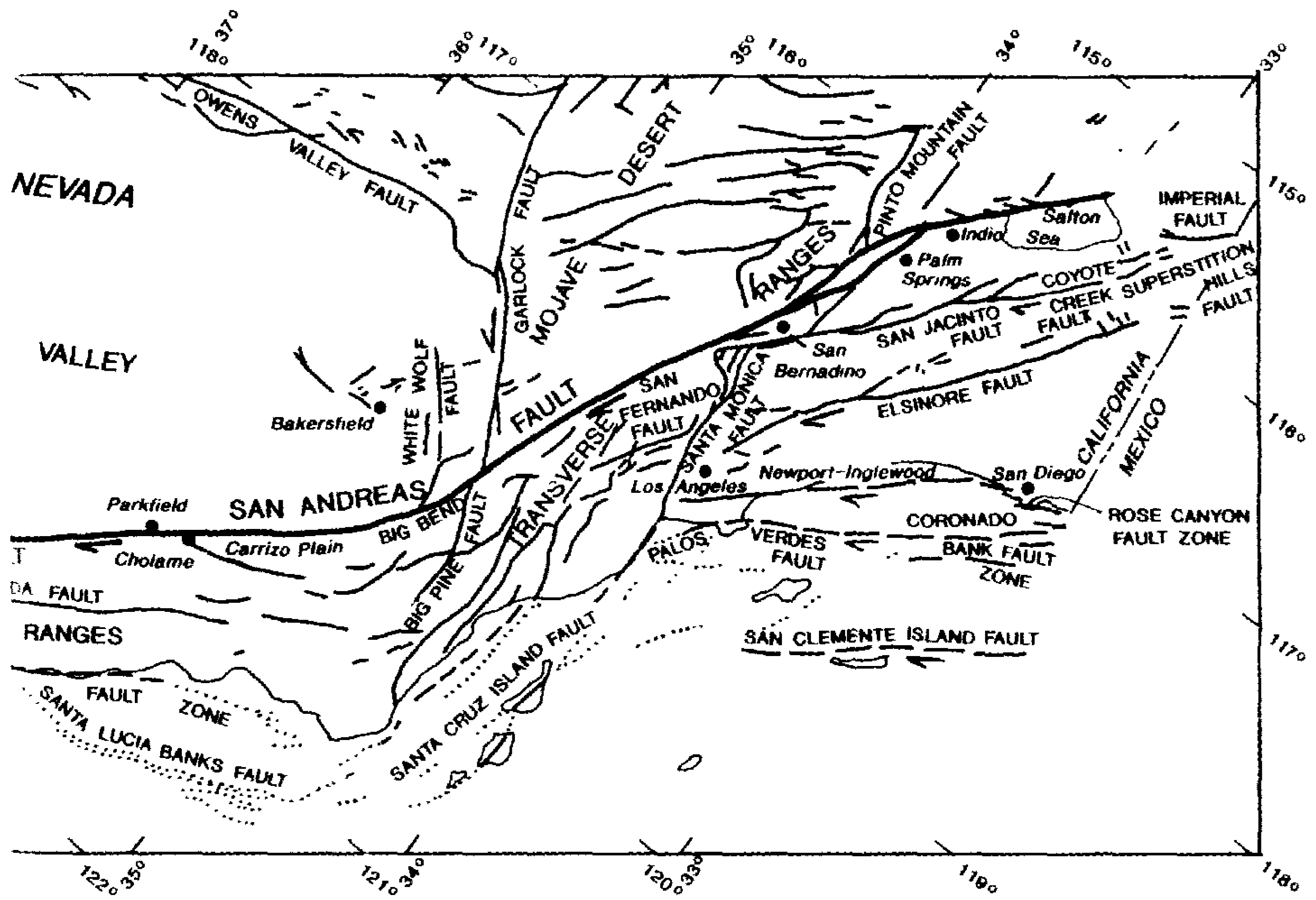
الشكل (٤-٩) خريطة ألواح محيطية صغيرة الحجم وحديثة العمر تنضوى تحت الشمال الغربى المطل على المحيط الهادى (أى تحت لوح أمريكا الشمالية- المترجم).



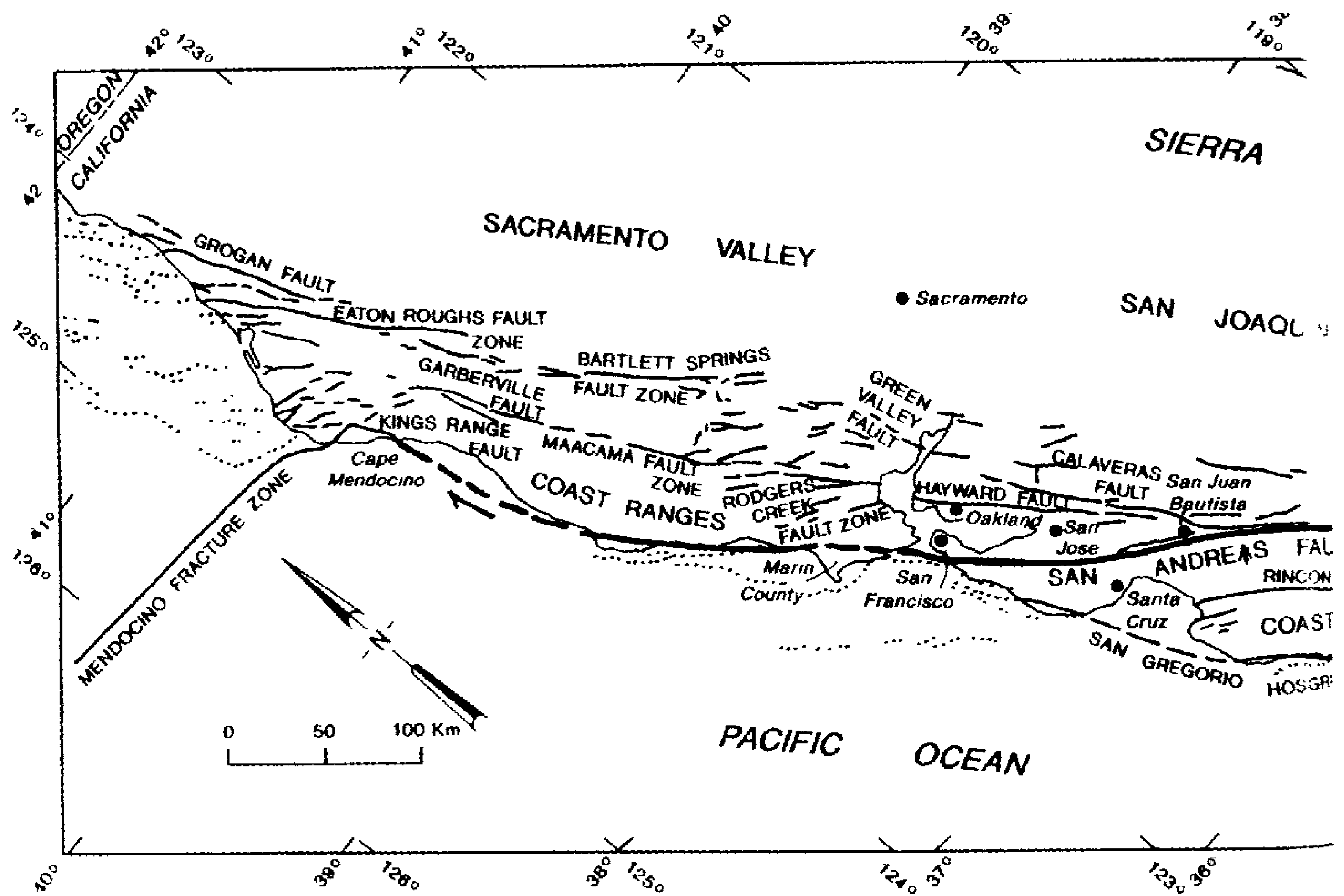
الشكل (٤-١٠) حلقات النمو السنوى فى الأشجار الغارقة على طول ساحل أوريجون- واشنطن- بريتيش كولومبيا تدل على موتها بعد موسم الخضرة فى ١٦٩٩. وغمر ماء البحر الأرض التى هبطت أثناء زلزال قوته ٩.



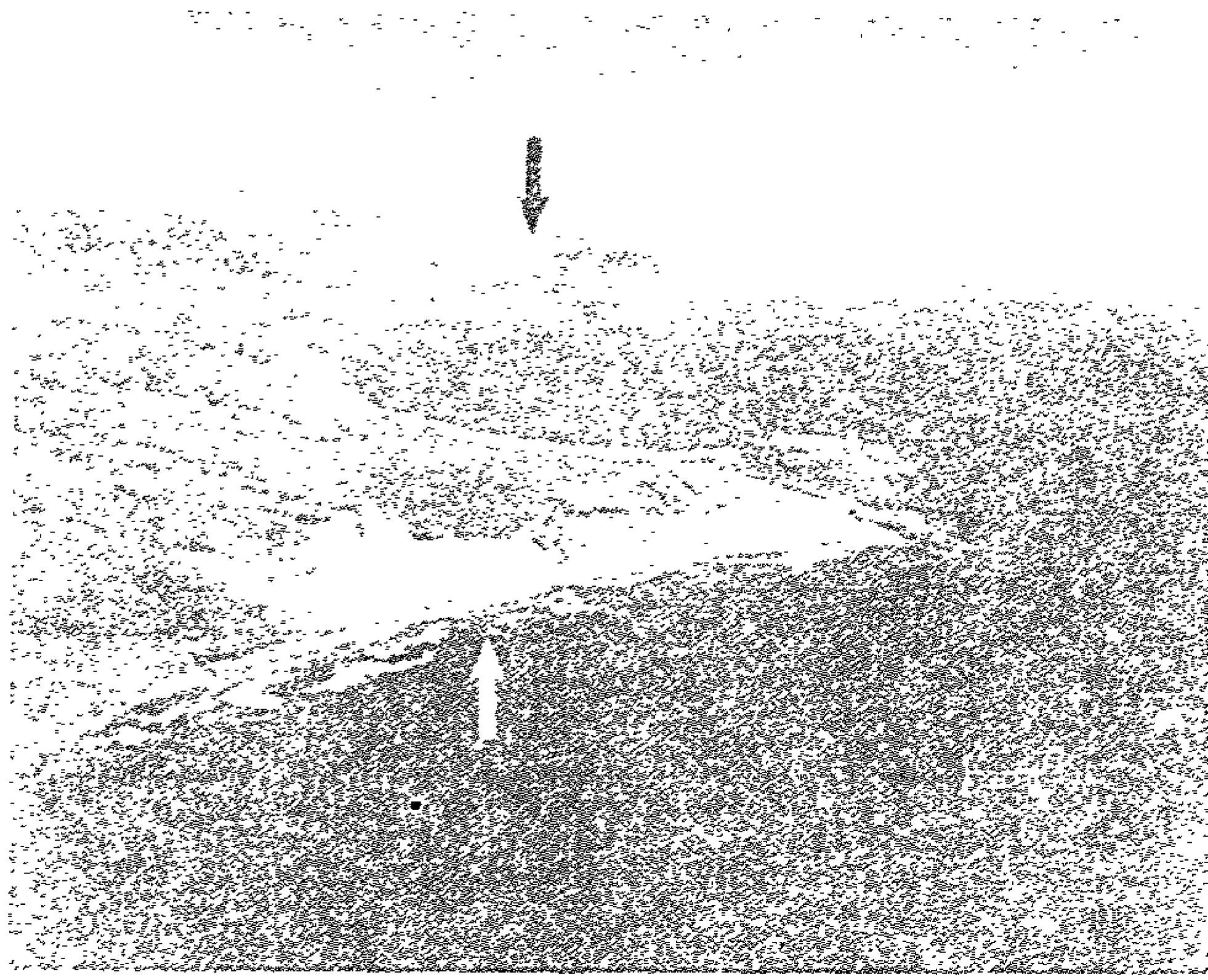
الشكل (١١-٤) خريطة أقصى شمال خليج كاليفورنيا. لاحظ مركزي الانتشار (موضحة بالأسهم الكبيرة المتعكسة) والصدوع (التحويلية) اليمينية الجانبية المتعلقة بها.



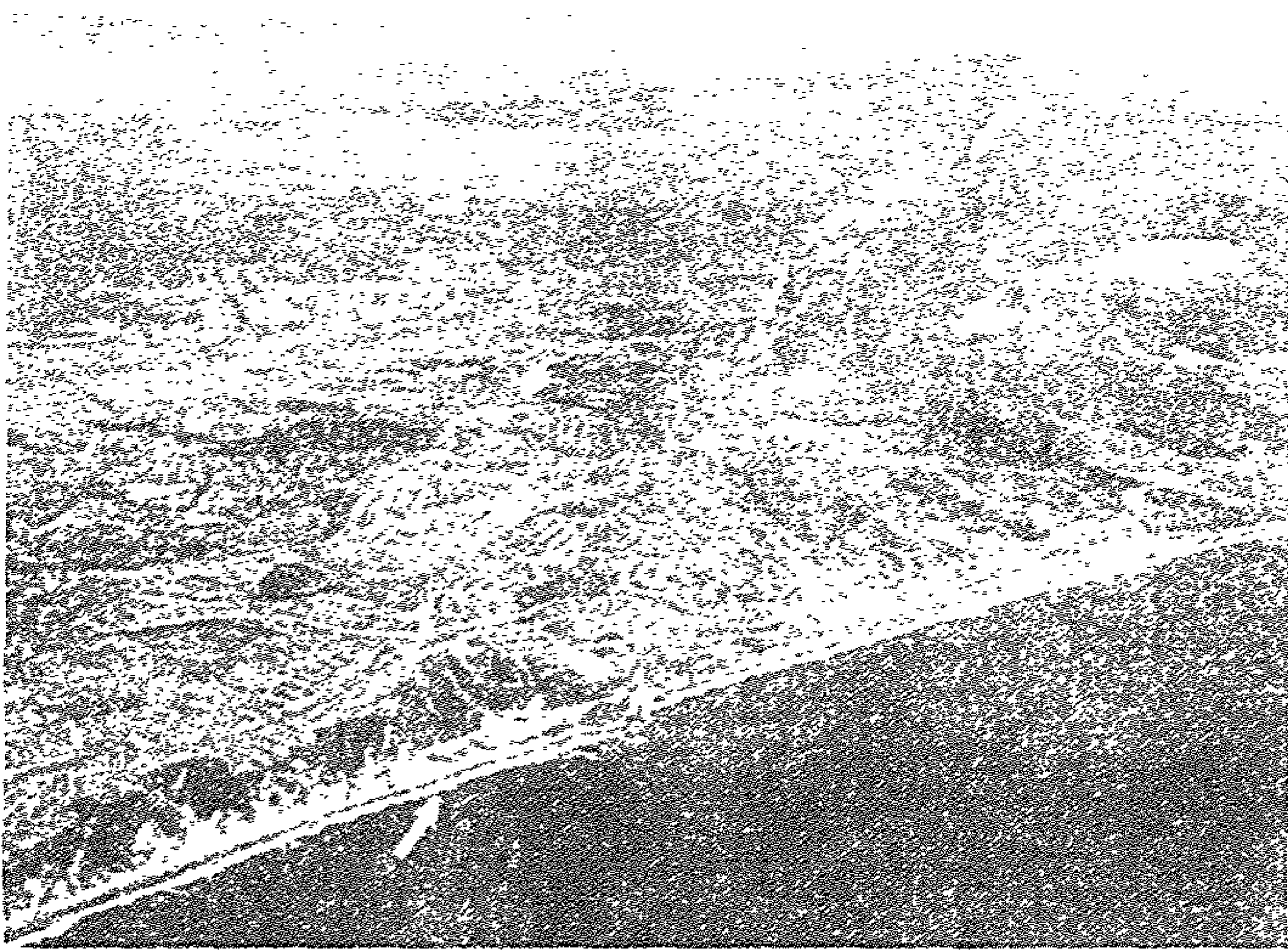
الشكل (٤-١٢) صدع سان أندرياس وصدوع أخرى في كاليفورنيا.



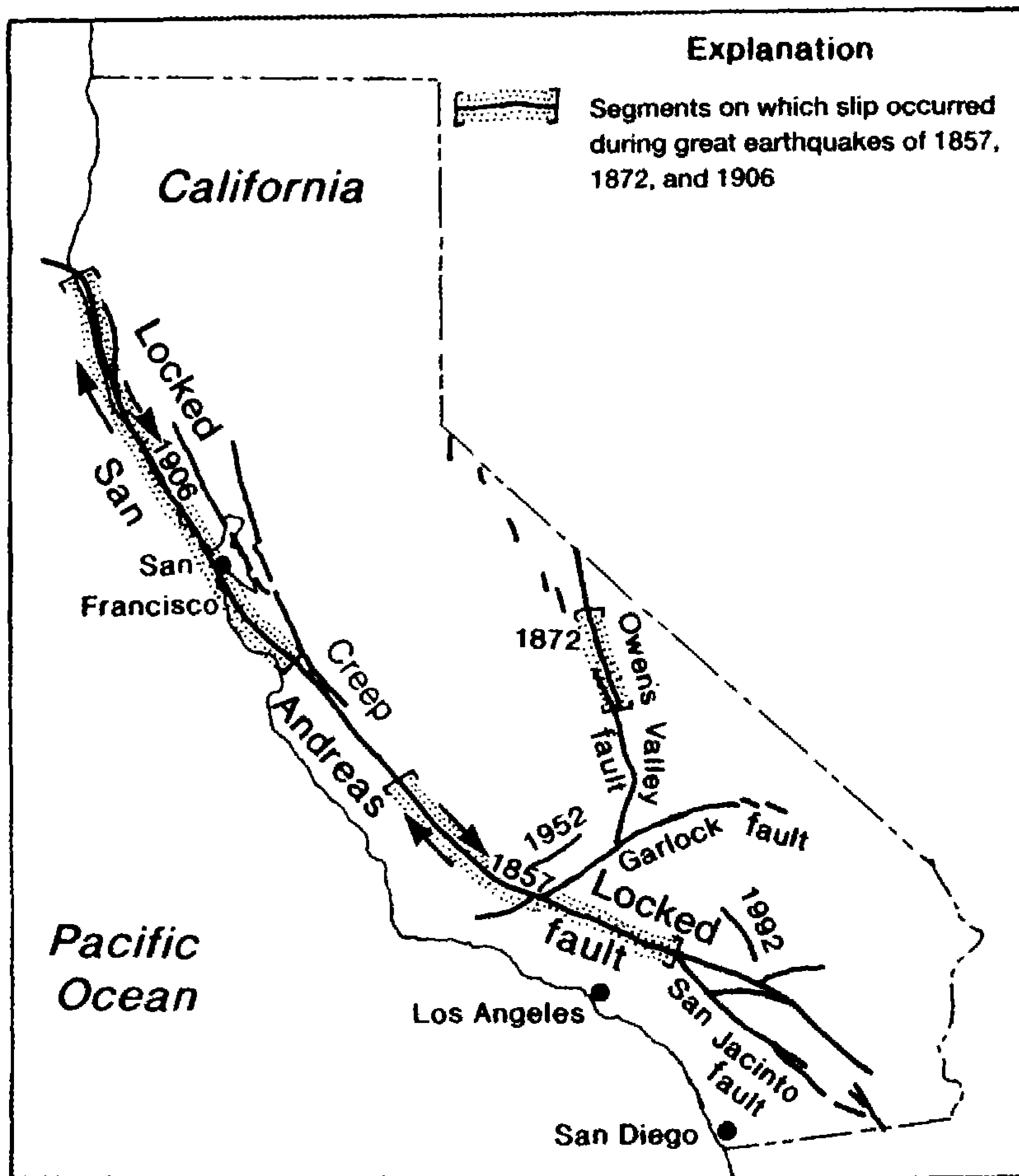
تابع الشكل، (١٢-٤).



الشكل (١٣-٤) منظر جنوبي - جنوب شرقي لصدع سان أندرياس. والمنظر فوق رأس بوديجا وخليج توماليس في اتجاه المركز السطحي لزلازال سان فرنسيسكو في عام ١٩٠٦.



الشكل (١٤-٤) منظر جنوب شرقي على طول أثر صدع سان أندرياس. ويقع مطار سان فرنسيسكو وجزء من خليج سان فرنسيسكو في يسار منتصف الصورة. وتقع البحيرات الخطية الظاهرة في يمين منتصف الصورة (مثل خزان يناييع كريستال) في منطقة الصدع. وفي أسفل المنتصف استصلحت تشققات الأرض وسويت وبنيت فوقها المنازل!



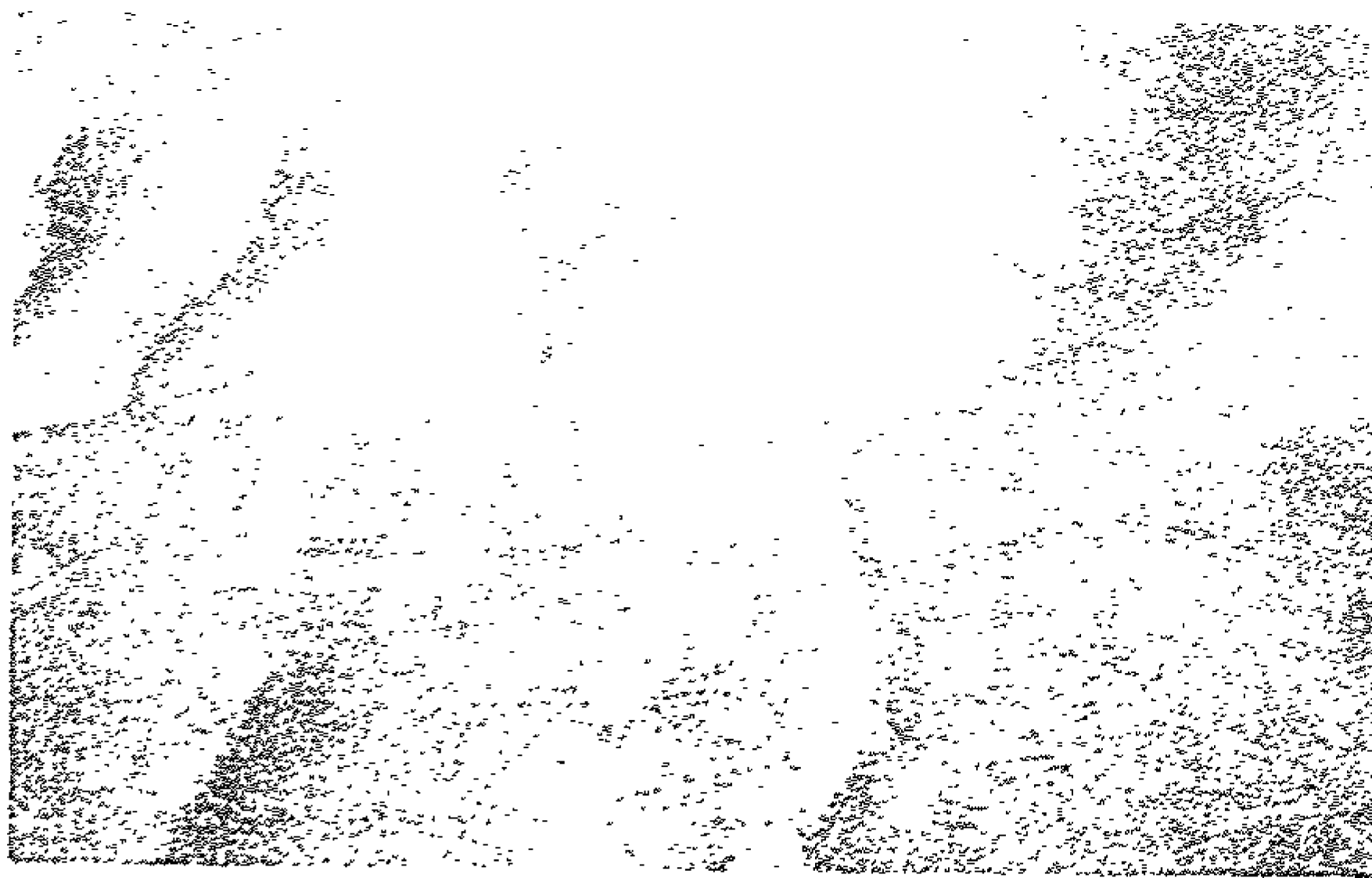
الشكل (٤-١٥) نشاط تاريخي لبعض صدوع كاليفورنيا. والقطاع الشمالي المغلق من صدع سان أندرياس انشق لمسافة ٢٦٥ ميلا في زلزال ١٩٠٦ (قوته ٨). والقطاع الأوسط الزاحف وقعت به زلازل صغيرة متكررة. وانشق القطاع الجنوبي- الأوسط المغلق لمسافة ٢٢٥ ميلا في زلزال ١٨٥٧ (قوته ٨,٣). وينتظر وقوع زلزال كبير في أقصى جنوبي سان أندرياس. وانشق صدع وادي أويينز لمسافة ٧٠ ميلا في زلزال ١٨٧٢ (قوته ٧,٧). وحدث زلزال قوته ٧,٧ في صدع وايت وولف في عام ١٩٥٢، وزلزال قوته ٧,٤ في صحراء موجا في عام ١٩٩٢.



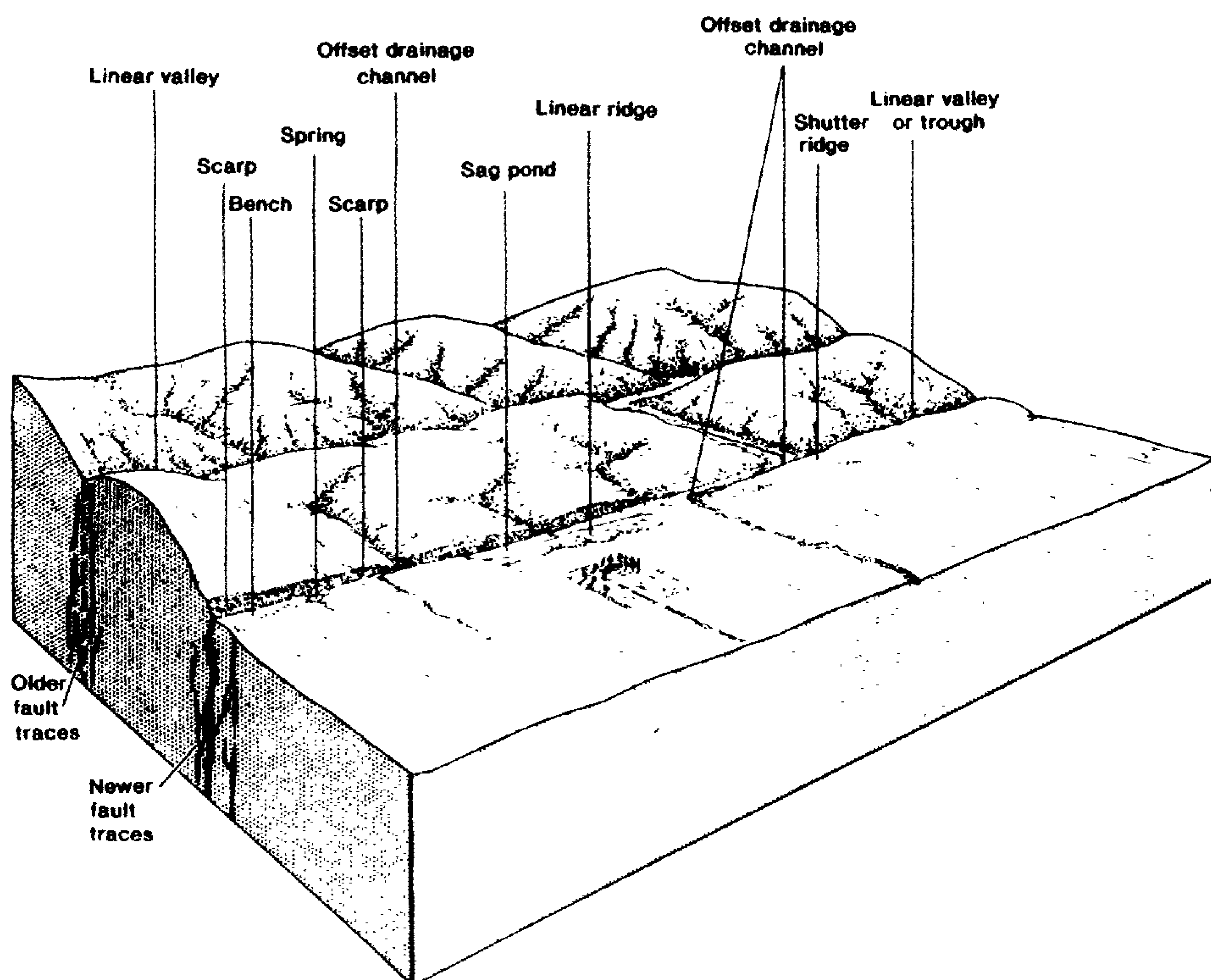
الشكل (٤-١٦) يمتد صدع سان أندرياس كشريط مائل عبر سهل كاريكو. لاحظ سلاسل الجبال والأحواض التي كونتها الموجات التضاغية والموجات التباعدية.



الشكل (١٧-٤) صورة بالقمر الصناعي في اتجاه الشمال عبر صدوع إلزینور وسان جاکینتو وسان أندریاس.

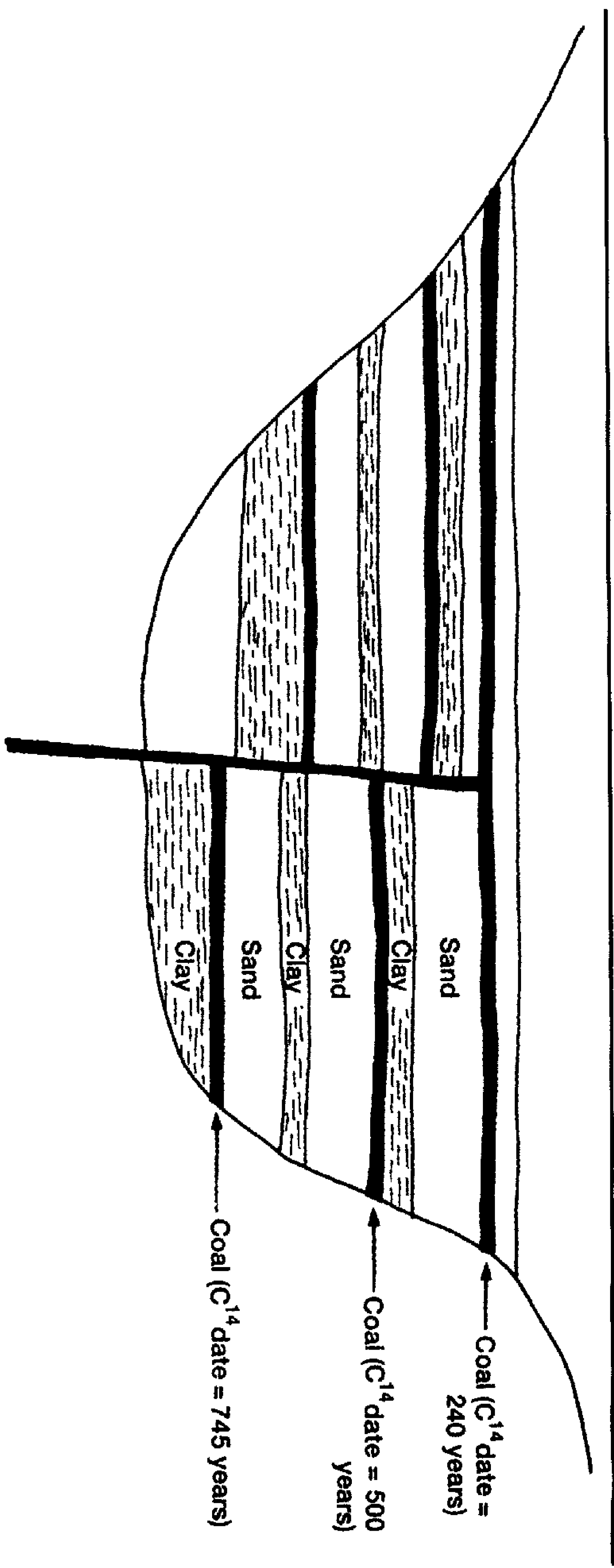


الشكل (١٨-٤) تلاحم صدع سان أندریاس عند والاس کریک فی سهل کاریزو. لاحظ تفریعات الجداول ومنخفضات البرك التي تشکلت فی الصدع. فهل كانت الحركات یمینیة جانبیة أو یساریة جانبیة؟

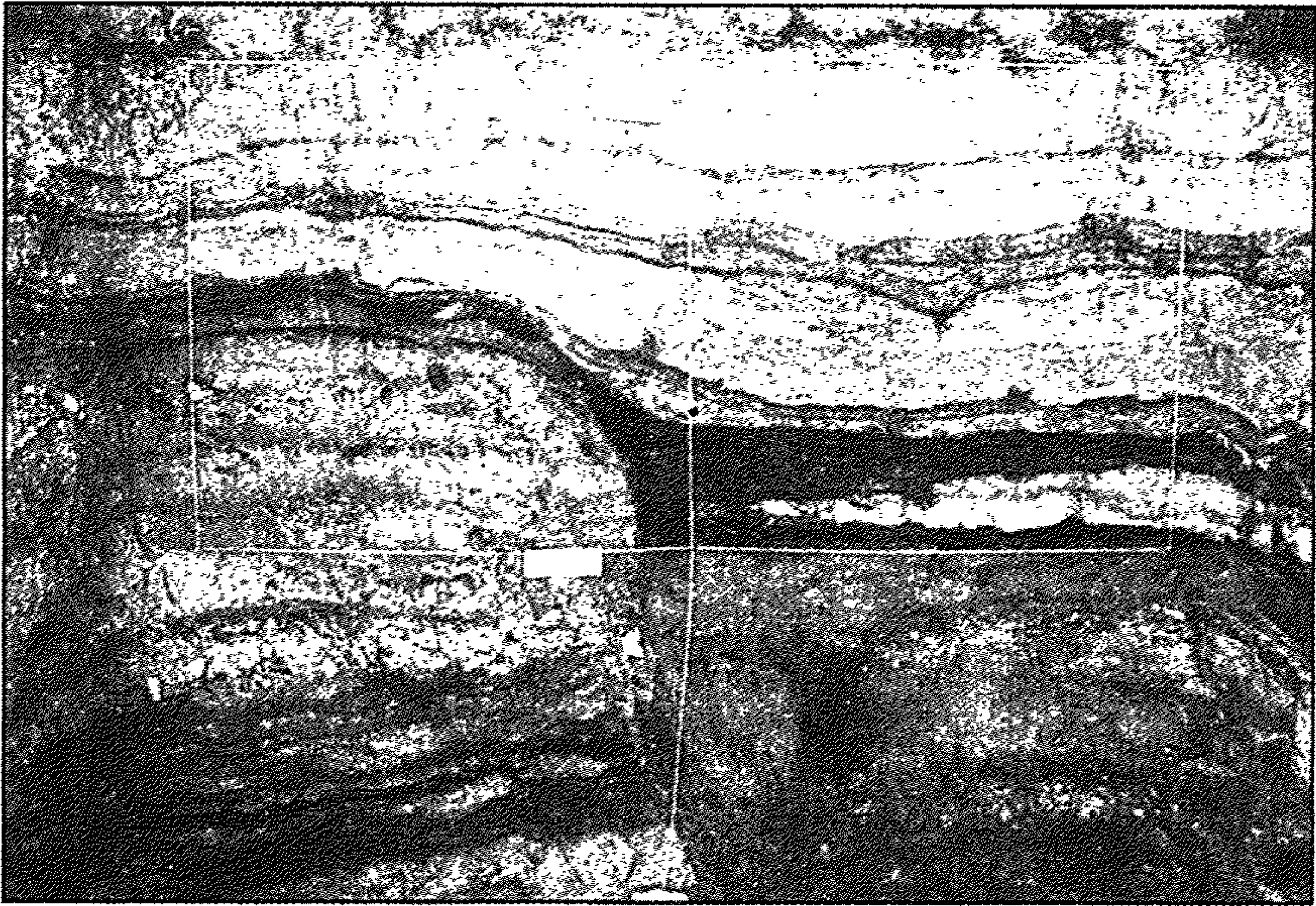


الشكل (١٩-٤) مخطط توضيحي للتضاريس الطبوغرافية على طول صدع سان أندرياس في سهل كاريكو. لاحظ البركة المنخفضة هنا وفي الشكل (١٨-٤). وتتهيئ الرواسب المترسبة في هذه المنخفضات الفرصة لتسجيل زلازل ما قبل التاريخ.

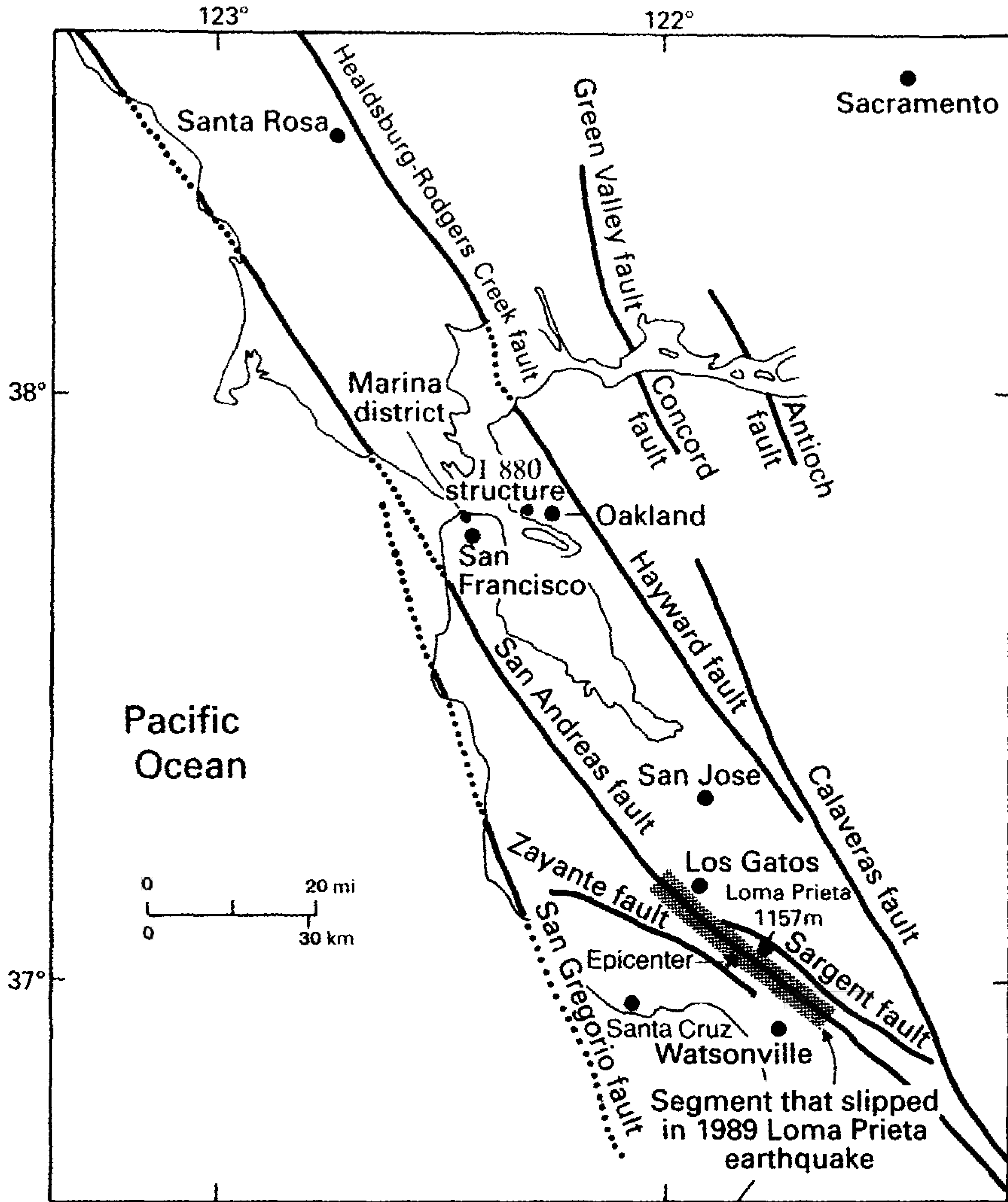
Neotectonics and Paleoseismology __ continued



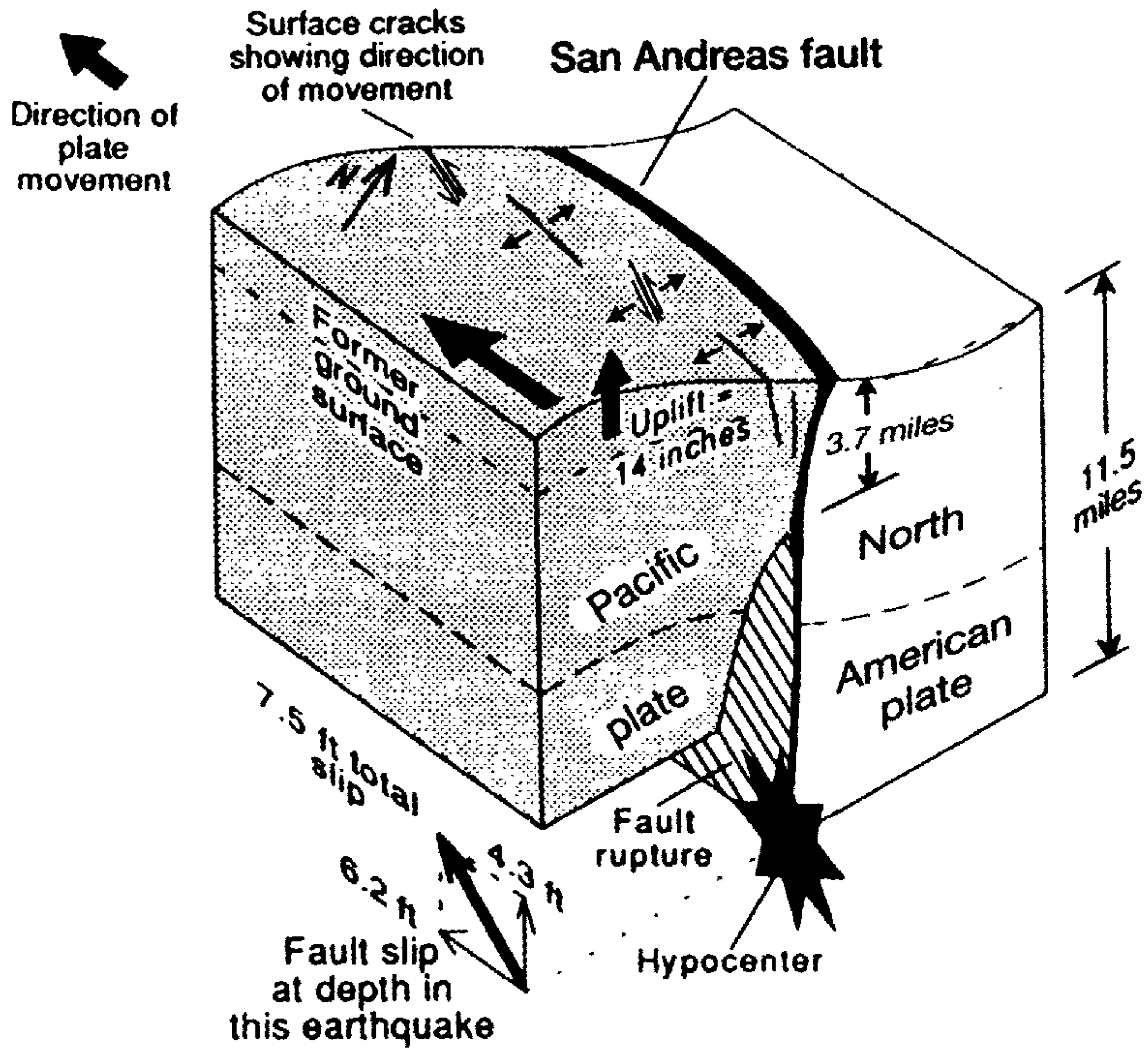
الشكل (٢٠-٤) قطاع مقطعي في قسم من حائط الخندق في بركة تكونت في الصدع. ويتشعب الصدع في طبقات الرواسب التي كانت ذات يوم مستمرة. لاحظ أن الطبقة العليا للمادة العضوية التي تكونت منذ ٢٤٠ عاماً غير مكسورة. وفي العمق تشعبت الطبقة الغنية بالمواد العضوية وعمرها ٥٠٠ عام والطبقة الأعمق من ذلك الغنية بالمواد العضوية وعمرها ٧٤٥ عاماً تشعبت مرتين موضحة أنها تعرضت لحركتي صدع كبير منذ أن تكونت. فما هو الفاصل الزمني التقريبي بين الزلازل في هذا الموقع؟ ومتى نتوقع هنا حدوث الزلازل الكبير التالي؟



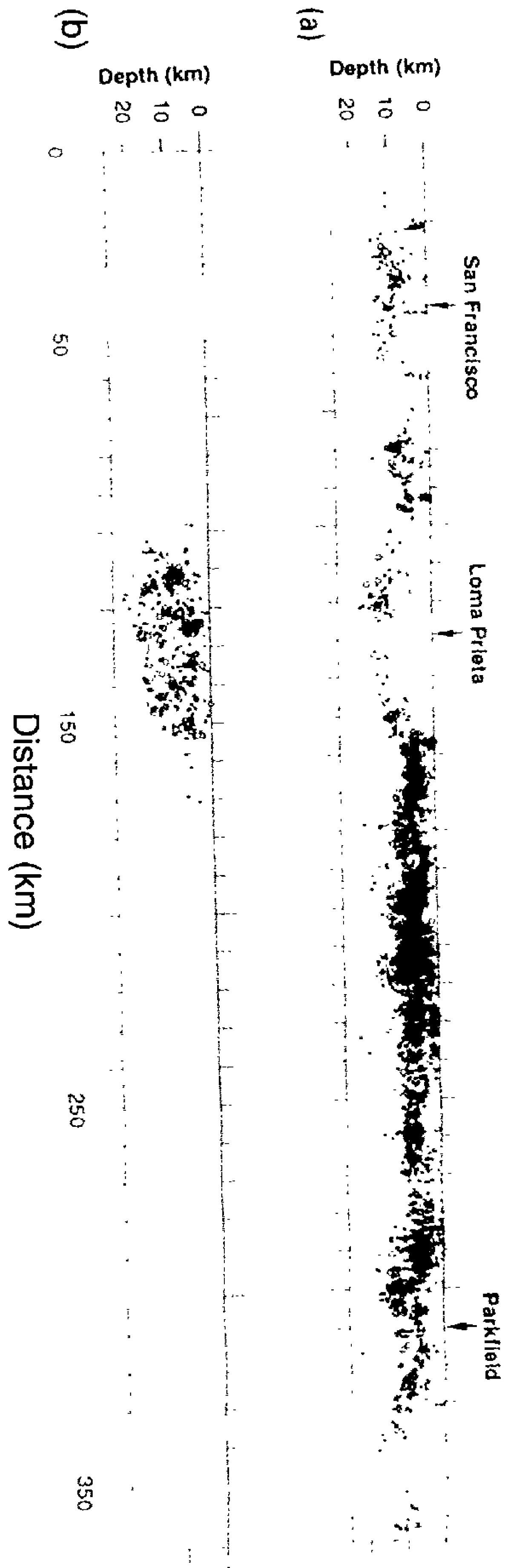
الشكل (٢١-٤) جدار فى خندق فى صدع سان أندرياس فى باليت كريك. وتبدو الطبقات الرملية بيضاء والطبقات الصلصالية رمادية والطبقات الغنية بالمواد العضوية سوداء. وتكونت الطبقة السوداء الموضحة فى المركز فى حوالى عام ١٥٠٠ ميلادية. وتشققت ١,٥ مترا (٥ أقدام) أفقيا و ٣٠ سم (١ قدم) رأسيا منذ عام ١٥٠٠ ميلادية.



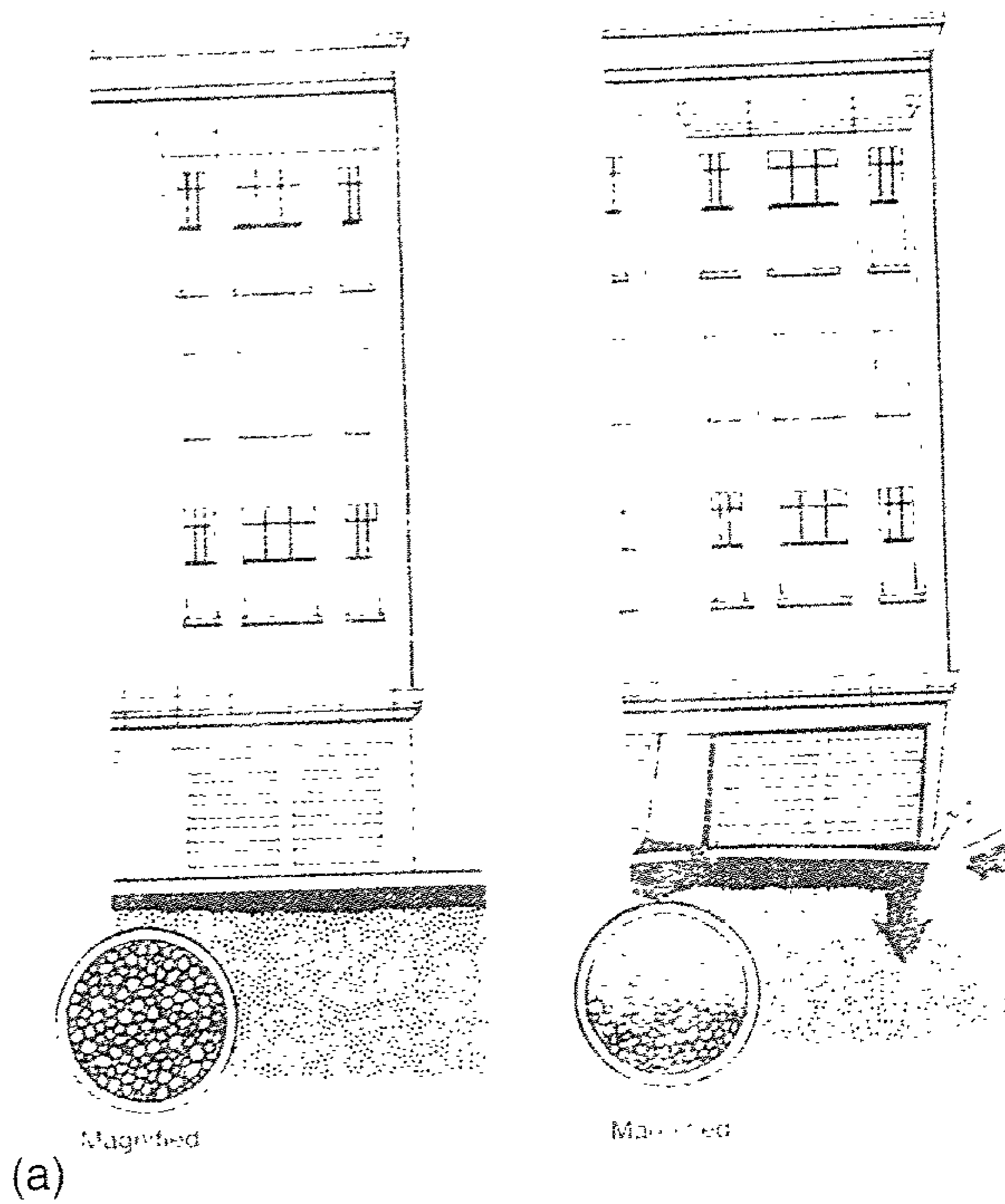
الشكل (٢٣-٤) خريطة توضح المركز السطحي لزلزال الدورة الرياضية العالمية (لوما بريتا). واتخذ صدع سان أندرياس درجة إلى اليسار مقدارها ٨-١٠ درجات في القطاع المكسور. وتقع الدرجة إلى اليسار كذلك حيث ينفصل صدعا كالافيراس وهايوارد عن اتجاه صدع سان أندرياس الرئيسي.



الشكل (٢٤-٤) مخطط توضيحي لحركة الصدع في منطقة سان أندرياس في زلزال الدورة العالمية. ويميل صدع سان أندرياس ٧٠ درجة إلى الجنوب الغربي بسبب طية الدرجة إلى اليسار. بدأت حركة الصدع على عمق ١٨ كم (١١,٥ ميلا) وتحركت ١,٩ مترا (٦,٢ أقدام) أفقيا و١,٣ مترا (٤,٣ أقدام) رأسيا. وتلاشت حركة الصدع إلى أعلى فلم تشق الأرض، رغم أن السطح انبعج لأعلى ٣٦ مم (١٤ بوصة). فإذا فكرنا في الأبعاد الثلاثة هنا: فهل يقع المركز السطحي على أثر سطح الأرض لصدع سان أندرياس بسبب ميل مستوى الصدع؟ لا.



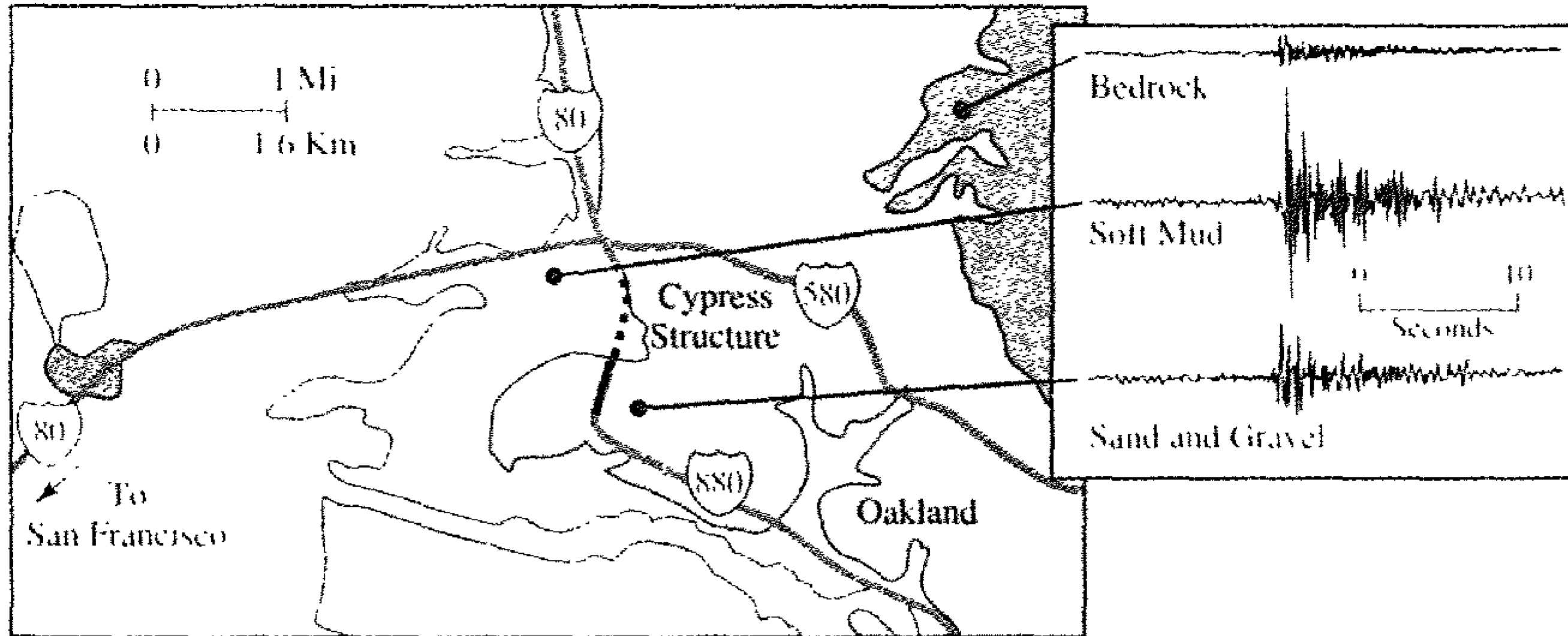
الشكل (٤-٢٥) قطاعات مقطعية للظاهرة الزلزالية على طول صدع سان أندرياس منذ عام ١٩٦٩ حتى باكورة عام ١٩٨٩. (أ) لاحظ التركزات الكثيفة للبؤر في القطاع المركزي، الزاحف من الصدع من جنوبي لوما بريتا حتى باركفيلد وكذلك الثغرة الزلزالية في منطقة لوما بريتا. (ب) لاحظ البؤرة العميقة للهزة الرئيسية في عام ١٩٨٩ والهزات التابعة العديدة. فإذا طبقنا القطعين المقطعين على بعضهما: لاحظنا امتلاء الثغرة الزلزالية. فهل هناك ثغرات زلزالية أخرى في القطاع المقطعي (أ)؟ نعم، جنوبي سان فرانسيسكو في منطقة خزان يناييع كريستال (انظر الشكل ٤-١٤)، إلى الغرب مباشرة من منطقة وسط شبه الجزيرة المكتظة بالسكان. فمتى تملأ هذه الثغرة الزلزالية؟



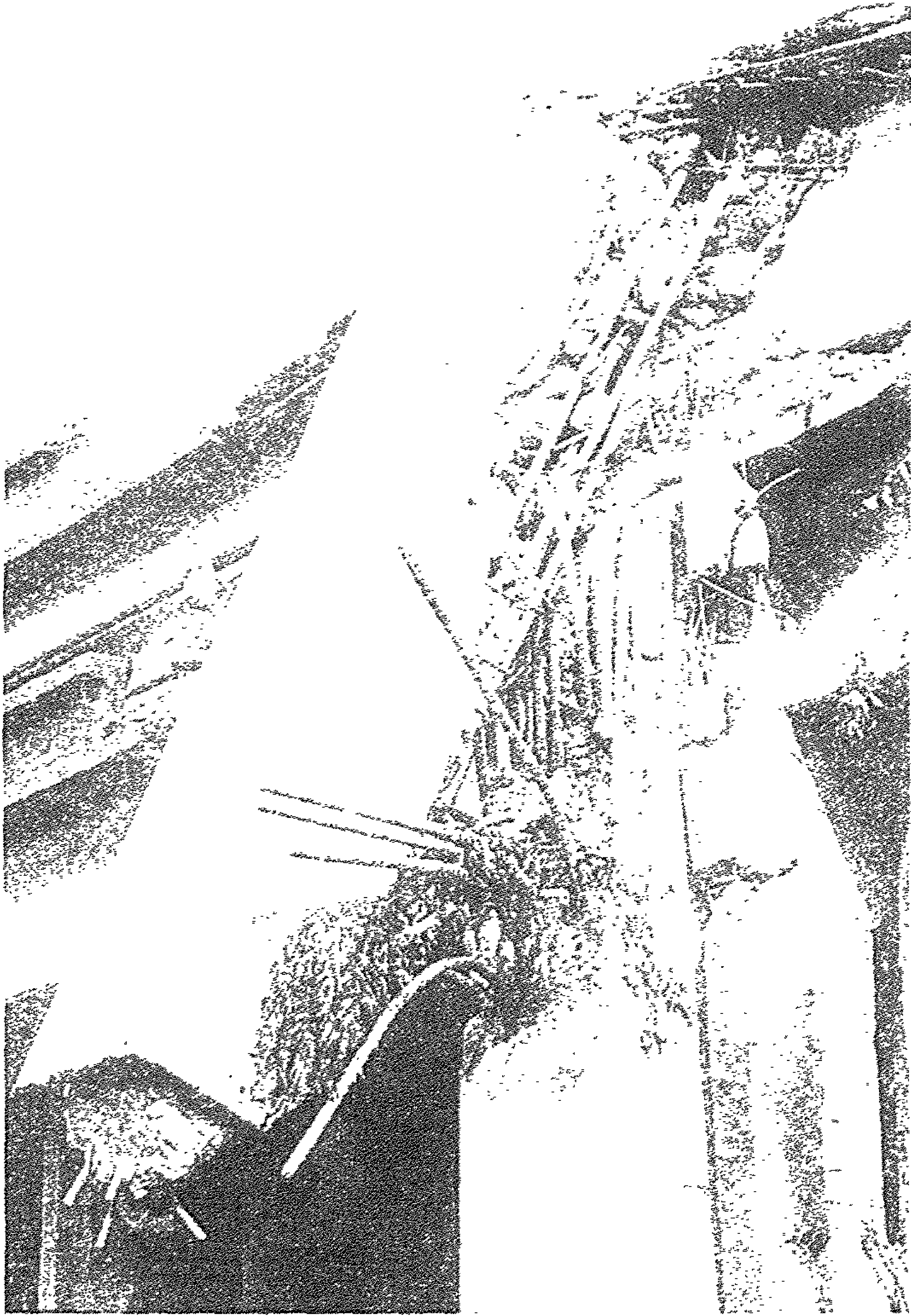
الشكل (٤-٢٦) (أ) عادة ما تستقر بهدوء الرواسب المشبعة بالماء. وعلى أية حال، عندما تهز الموجات الزلزالية يمكن لحبات الرمل والماء أن تشكل ردغة (طينا) تتدفق كالمسائل. وعندما تتسيل المواد الترابية ربما تشققت أساسات المباني وربما سقطت المباني. (ب) انهيار نمطى لمبنى فى حى مارينا. وقد بنيت ثلاث طوابق سكنية فوق طابق أرضى هش، استخدم فى توقيف السيارات: والآن، أصبح ارتفاع الطوابق الأربعة ارتفاعاً للطوابق الثلاثة فقط.



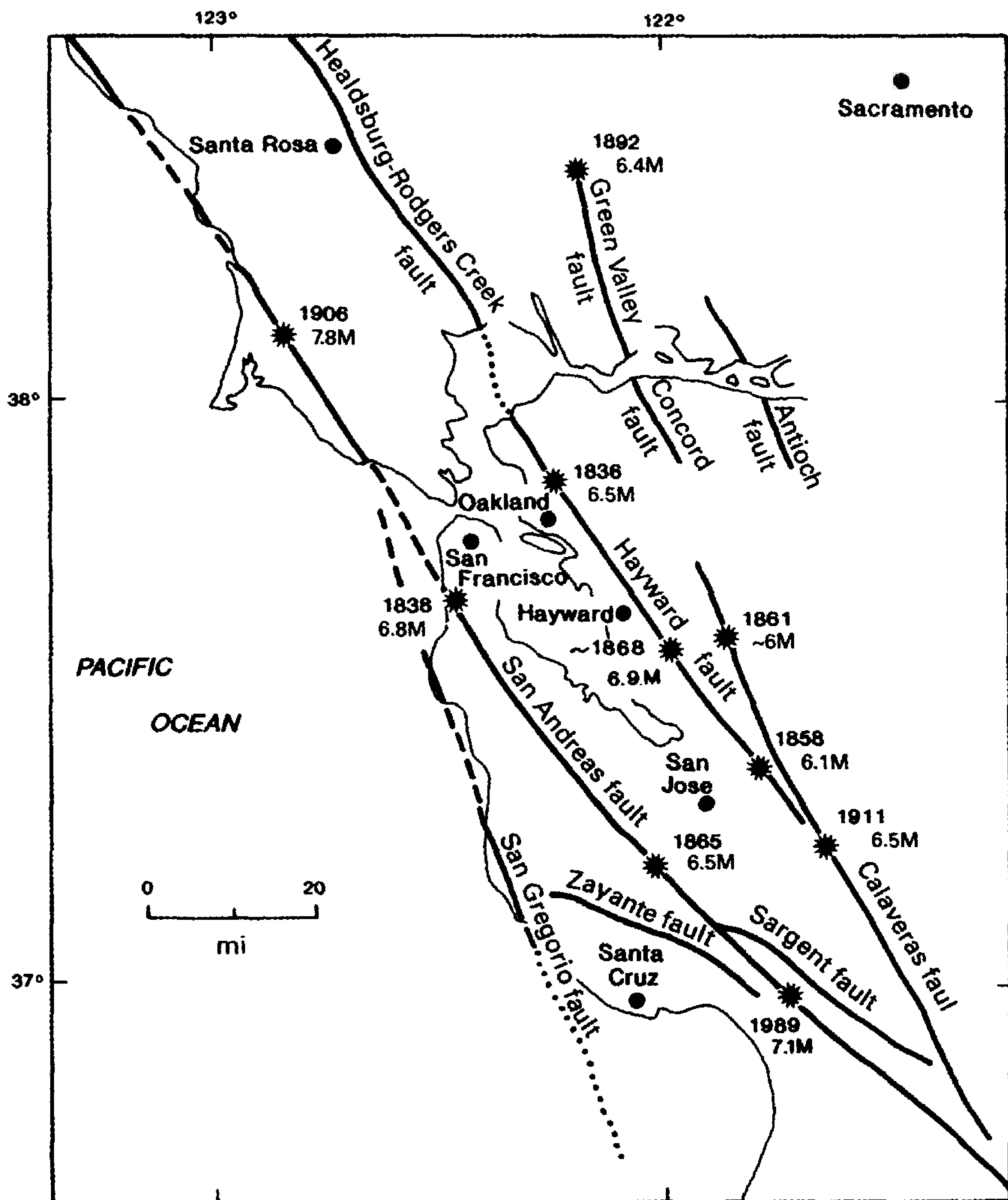
الشكل (٢٧-٤) قطاع من الطريق السريع الموصل بين الولايات ذى المستويين رقم ٨٨٠ عند أوكلاند استكمل بناؤه فى عام ١٩٥٧؛ وانهار فى زلزال ١٩٨٩ وسقط من سطح الطريق العلوى ١,٢٥ ميلا فوق الطريق السريع ساحقا الكثير من السيارات والناس.



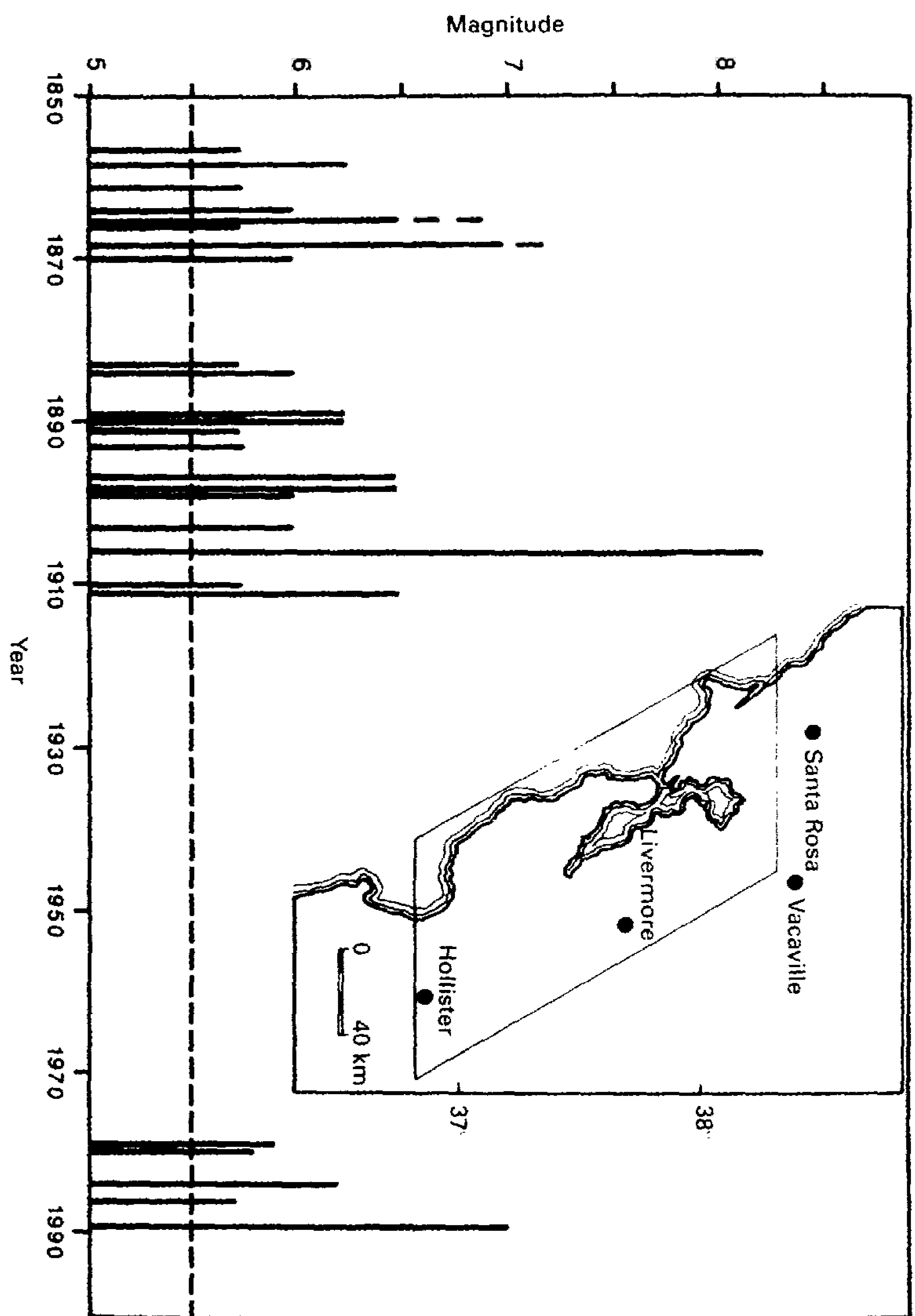
الشكل (٢٨-٤) جزء من الطريق العلوى الموصل بين الولايات رقم ٨٨٠ الذى بنى فوق طين الخليج الرخوفانهار (الخط الأسود المنقط) بينما الجزء المبنى فوق الصخر لا يزال سليما (الخط الأسود المستمر). لاحظ كيف تضخمت الهزة فى الطين الرخو.



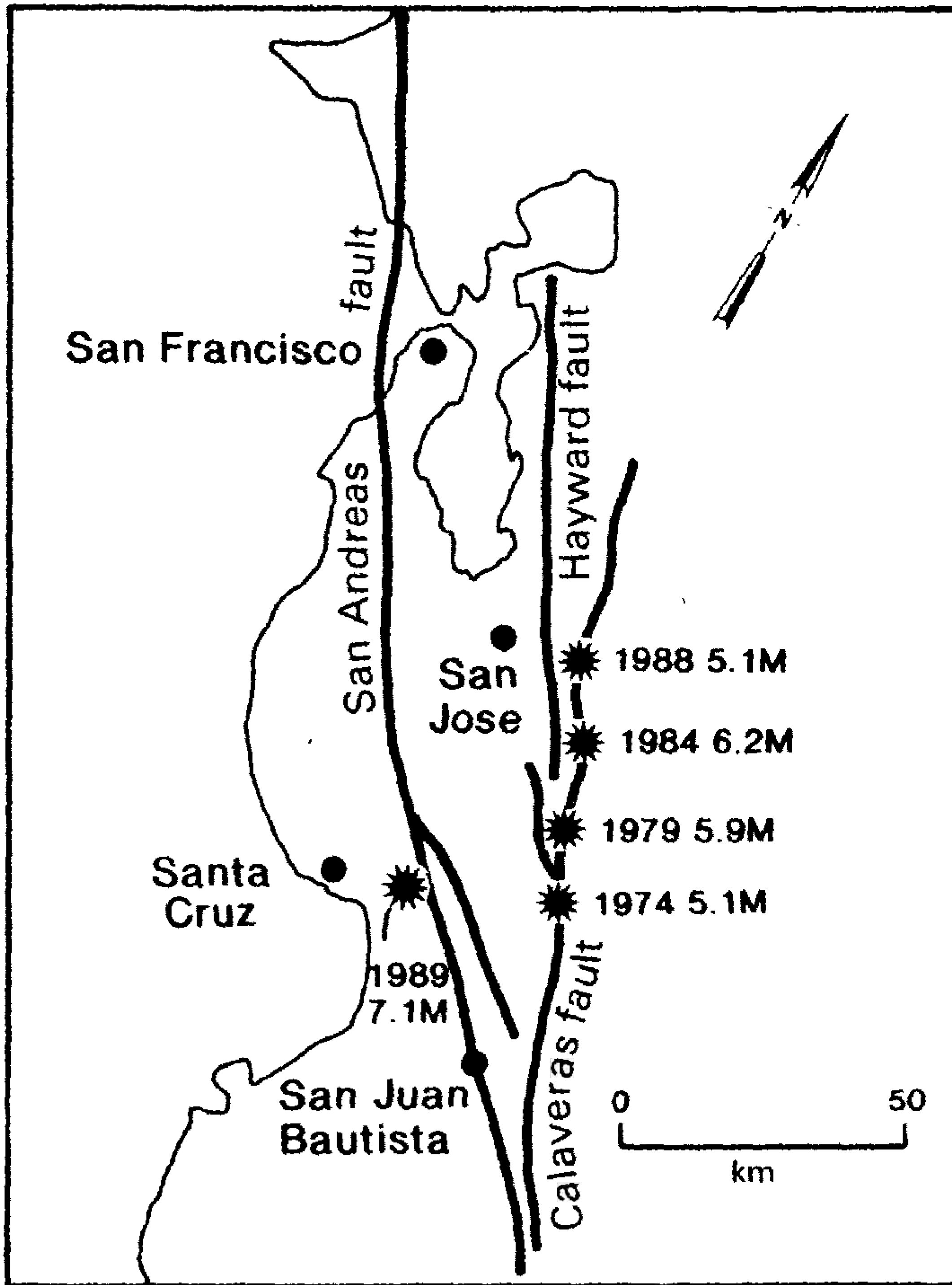
الشكل (٢٩-٤) انهيار كمرات الحمل في الطريق السريع الموصل بين الولايات رقم ٨٨٠ عند نقط
الاتصال. وكان بكل كمره 10×18 قضيباً من الصلب ولكنها لم تكن مستمرة الترابط عند
نقط الاتصال فانهارت.



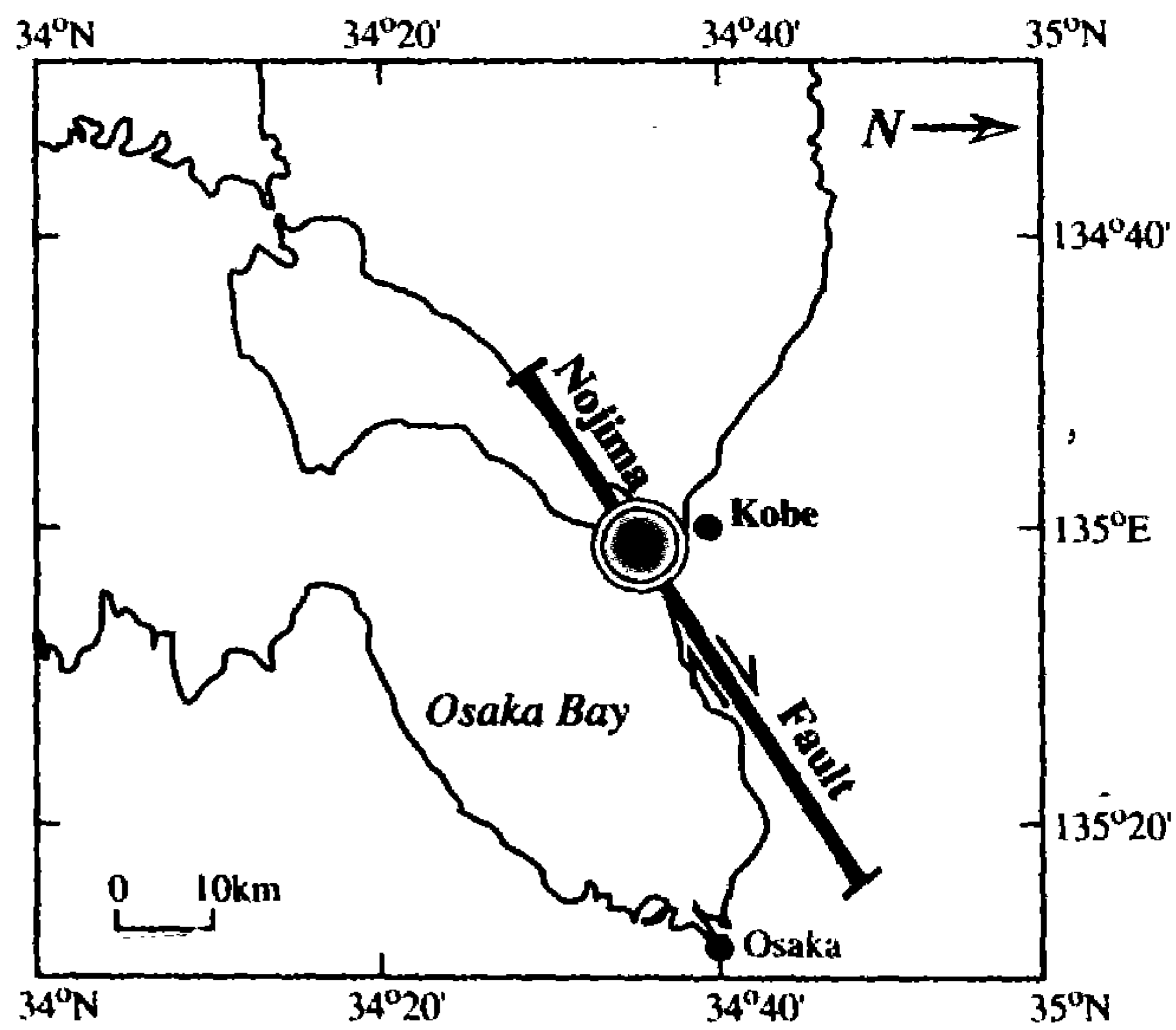
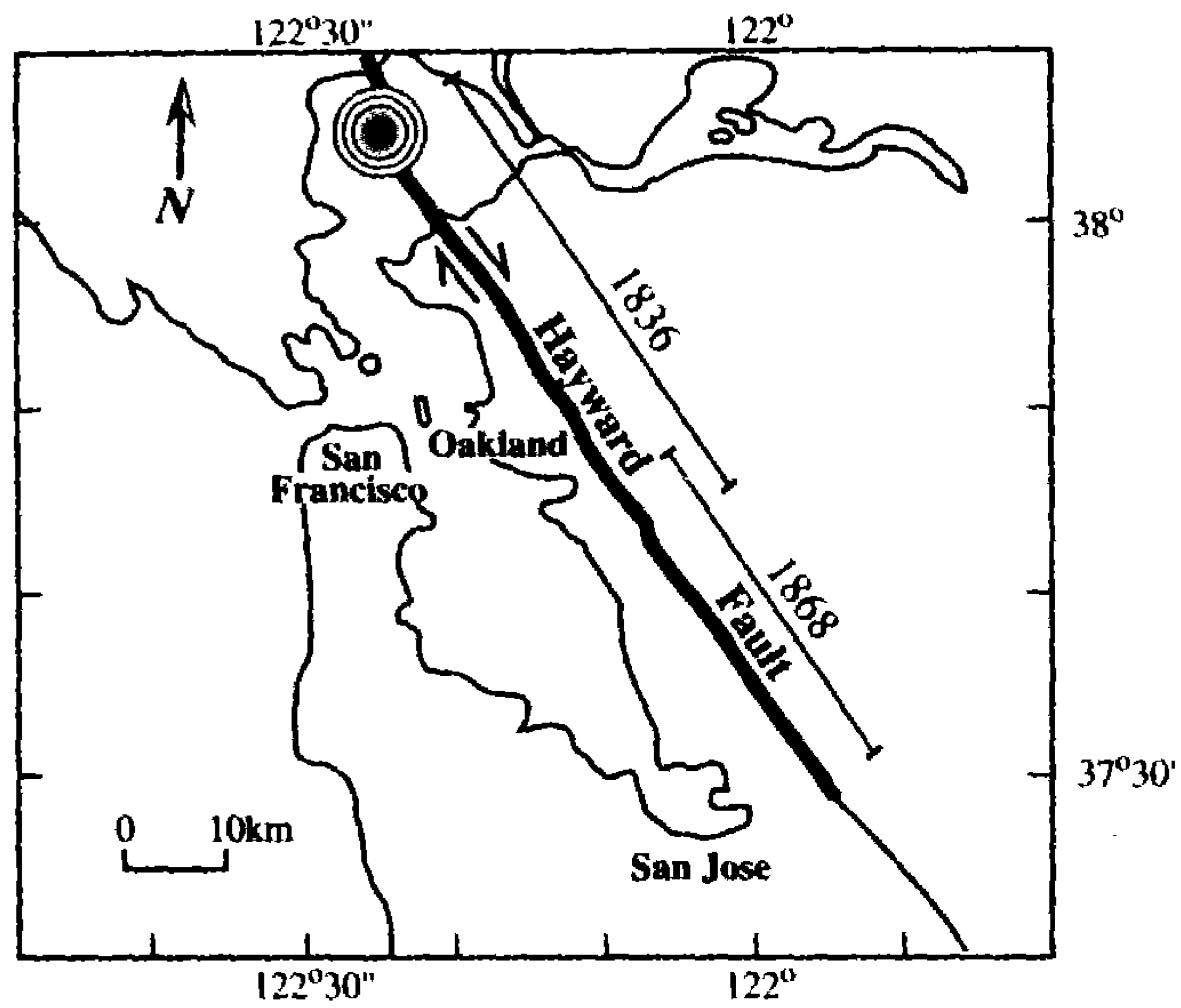
الشكل (٢٠-٤) مواقع وأحجام تقريبية لبعض الزلازل الكبيرة في منطقة الخليج.



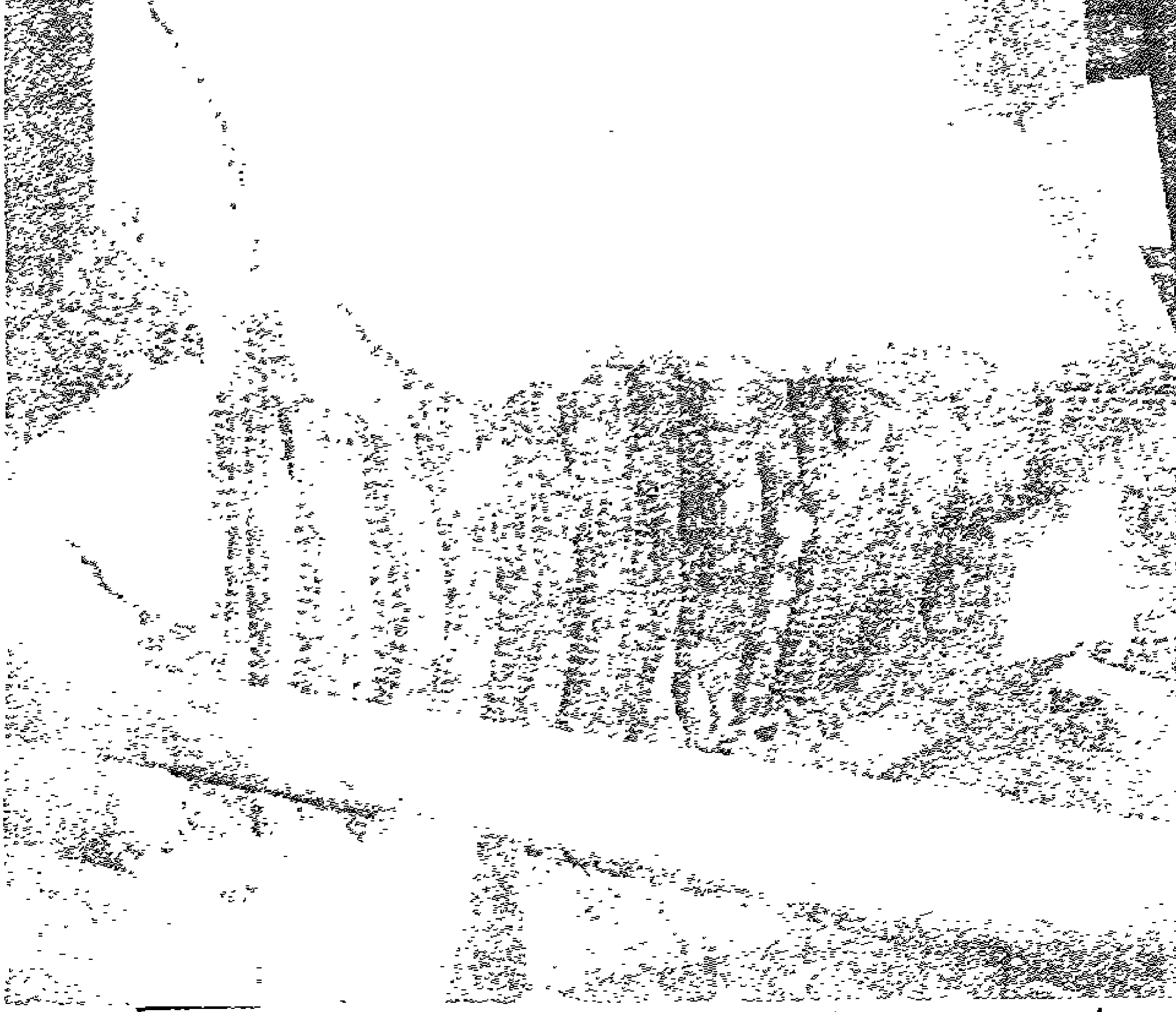
الشكل (٣١-٤) توزيع الزلازل ذات القوة أكبر من ٥,٥ بالقرب من خليج سان فرانسيسكو، ١٨٤٩-١٩٩٠. وتوضح الخريطة المفهرسة مناطق المراكز السطحية للزلازل.



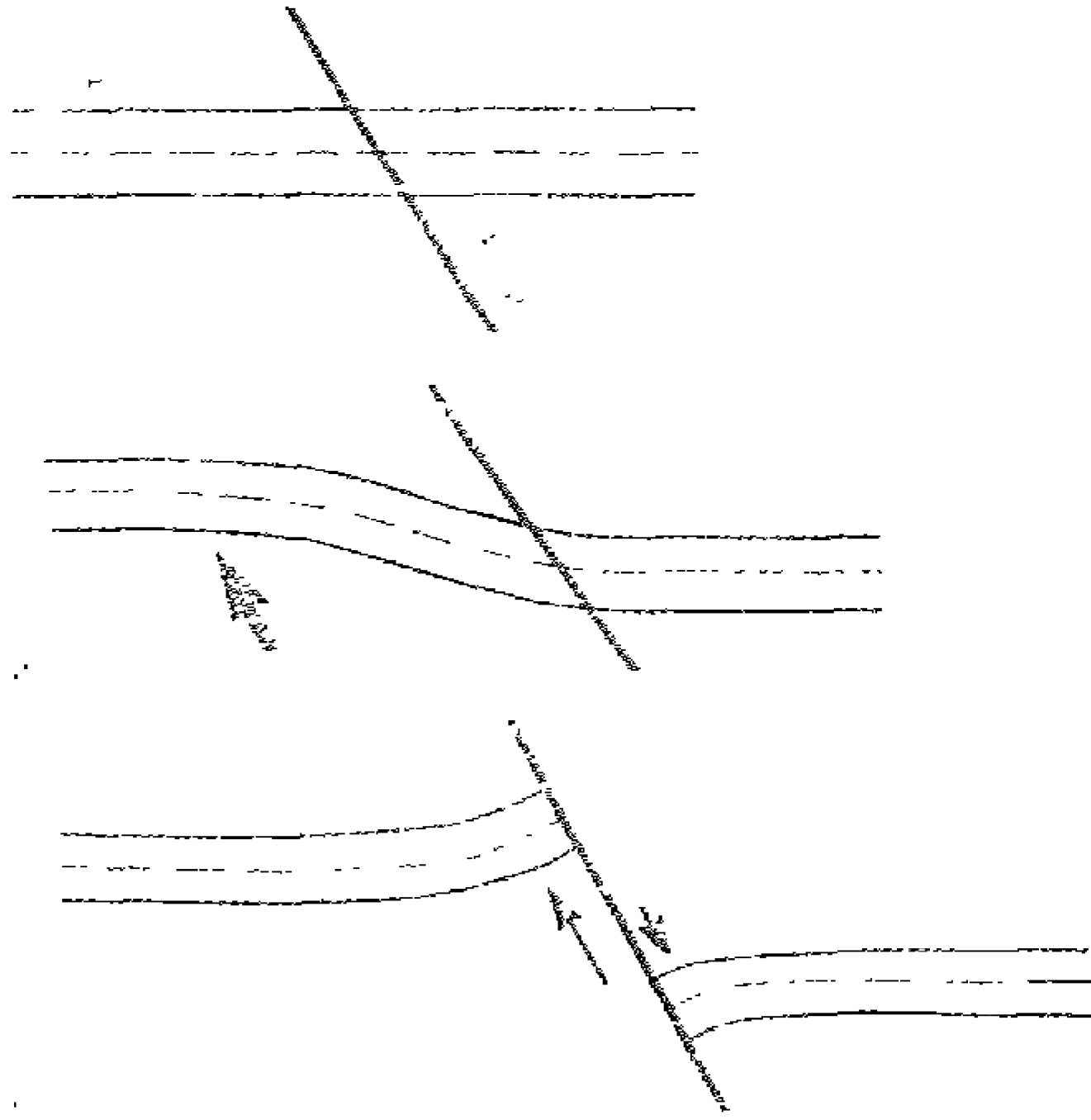
الشكل (٣٢-٤) مواقع وقوة الزلازل الكبرى الحديثة في جنوبي إقليم خليج سان فرانسيسكو.



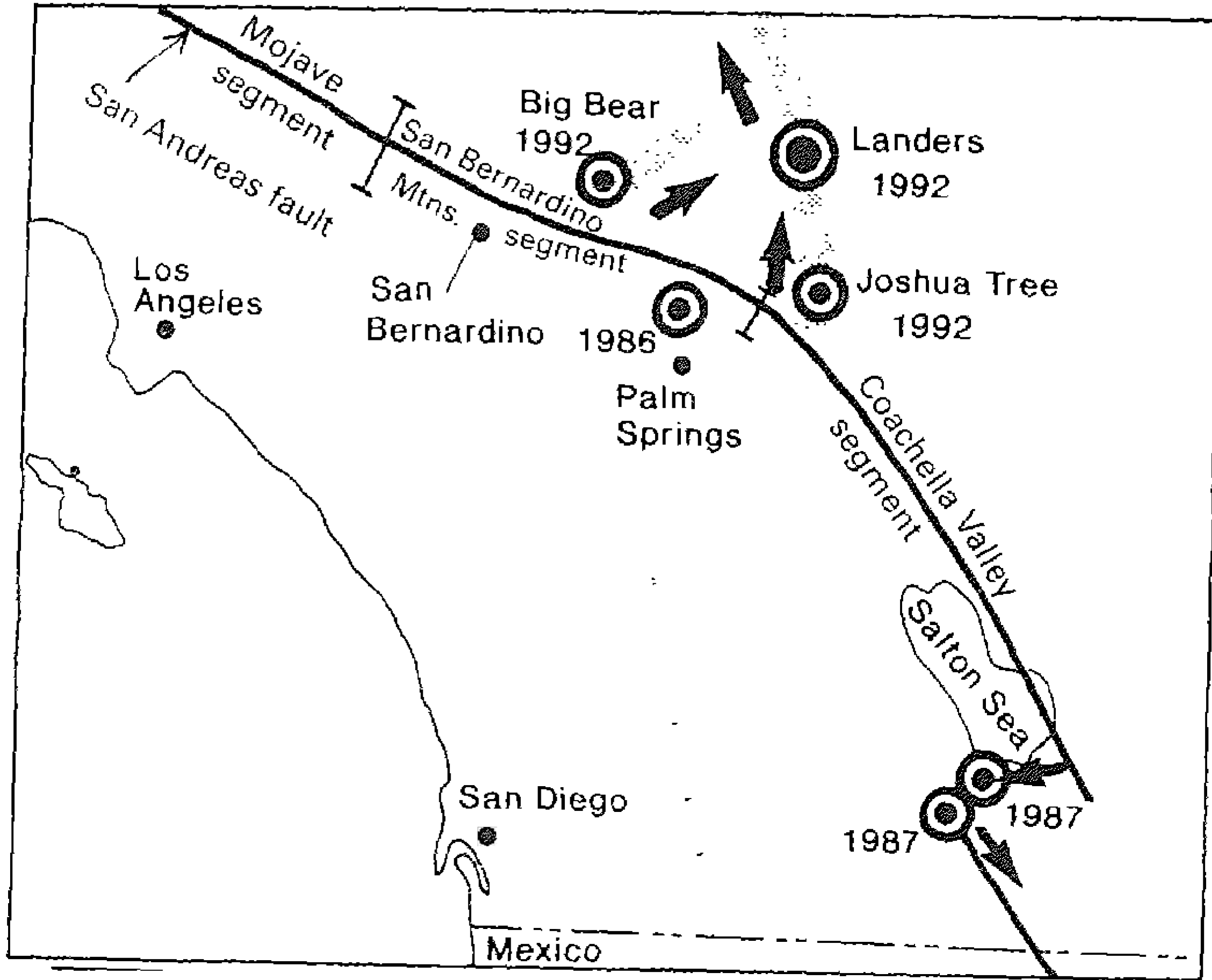
الشكل (٢٣-٤) القطاع الشمالى من صدع هايوارد يبدو أشبه شىء بصدع نوجيما الذى تسبب فى زلزال كوبي فى ١٩٩٥.



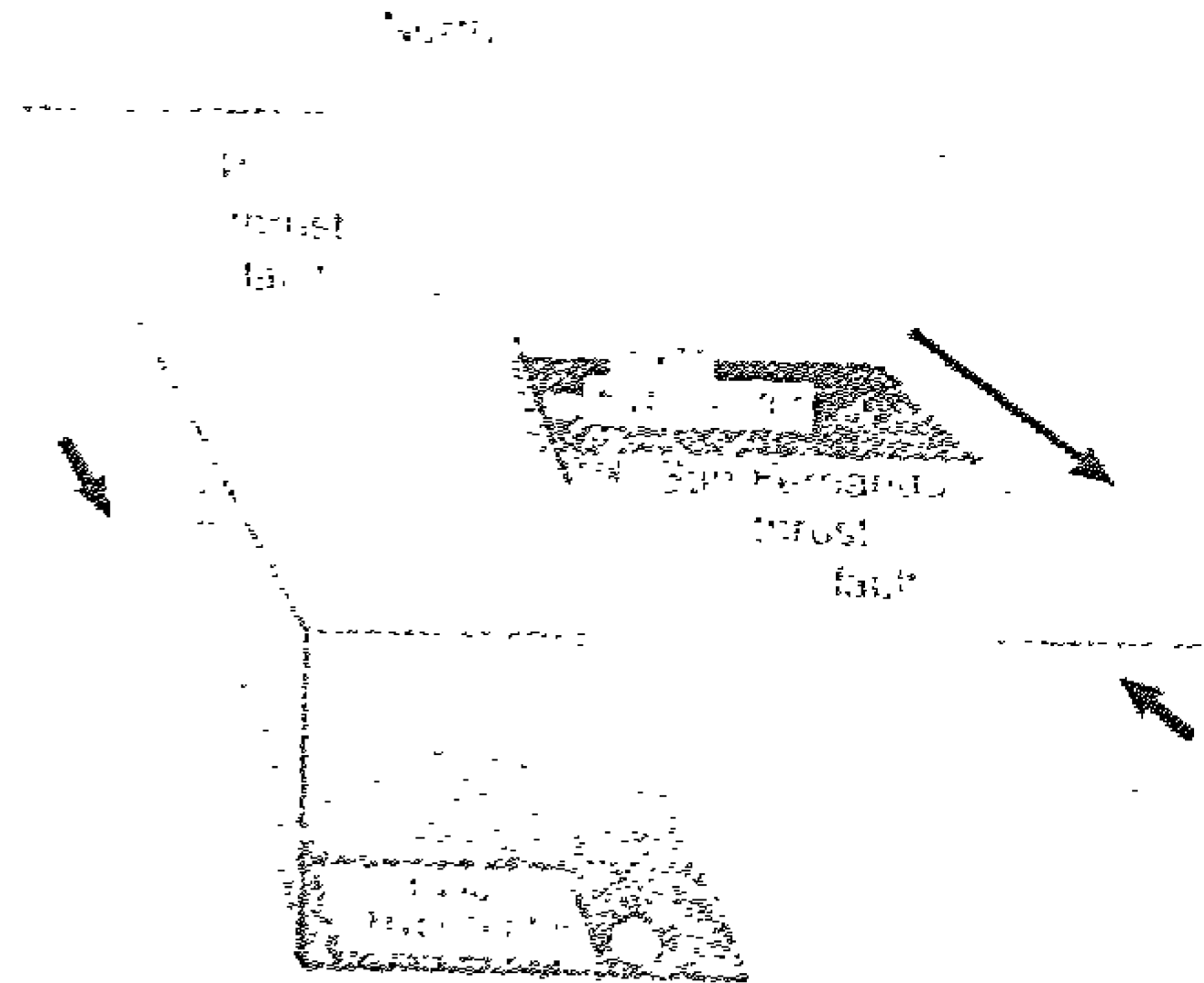
الشكل (٣٤-٤) دعامات جامدة ضخمة (لاحظ السيارة للمقارنة) فى الطريق العلوى السريع فى كوبي، انهارت بسبب نقص اللدانة (المرونة) رغم ضخامة حجمها.



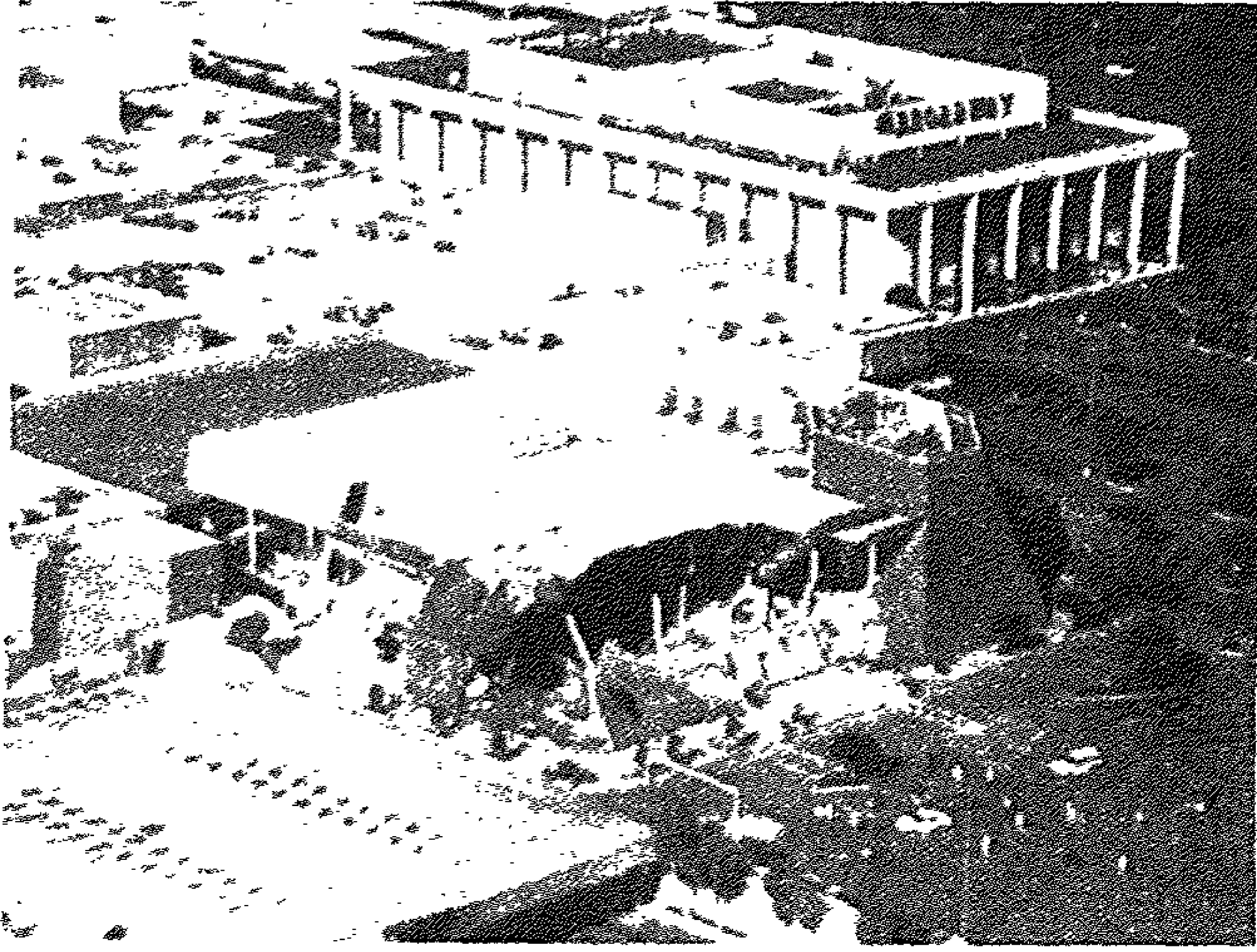
الشكل (٣٥-٤) نظرية الارتداد المرن. (أ) صدع نشيط وطريق على شكل خط إشارى. (ب) تشوه يحدث على طول الصدع ولكن احتكاك كتل الصخر على الصدع تؤخر الحركة. (ج) وأخيرا، يزيد التشوه إلى الدرجة التى تمزق الصدع ويتباعد الجانبان عن بعضهما وربما يلتحمان فى الواقع ويتحركان عبر الصخور لمسافة أبعد.



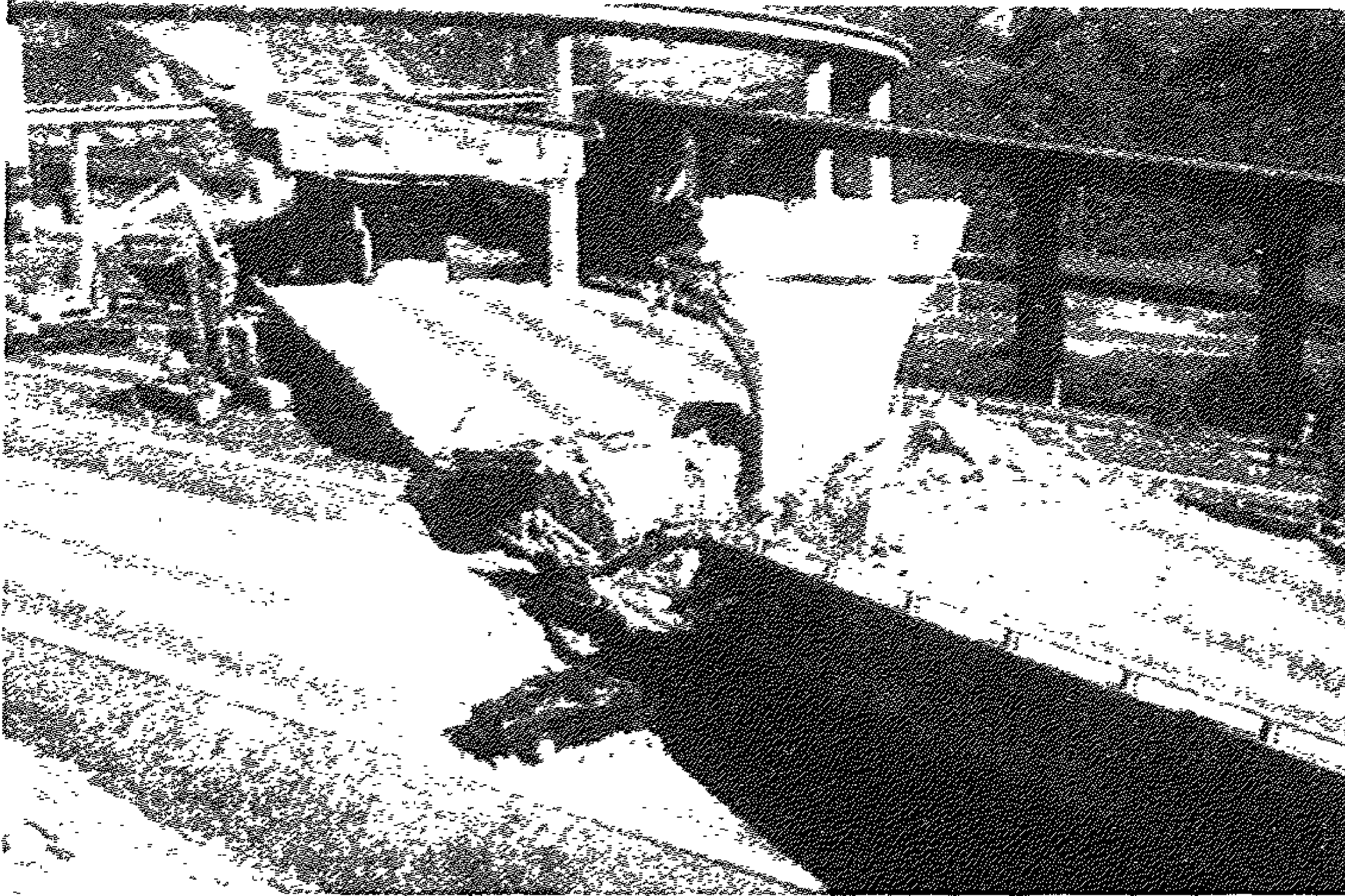
الشكل (٢-٣٦) خريطة للزلازل الكبرى بالقرب من الطرفين الشمالي والجنوبي لقطاع وادي كوتشيللا في صدع سان أندرياس. واندفعت كتلة القشرة المثثة الواقعة بالقرب من الطرف الشمالي إلى الشمال والخارج، مخففة من الضغوط التي تحفظ قطاع الصدع هذا من الحركة.



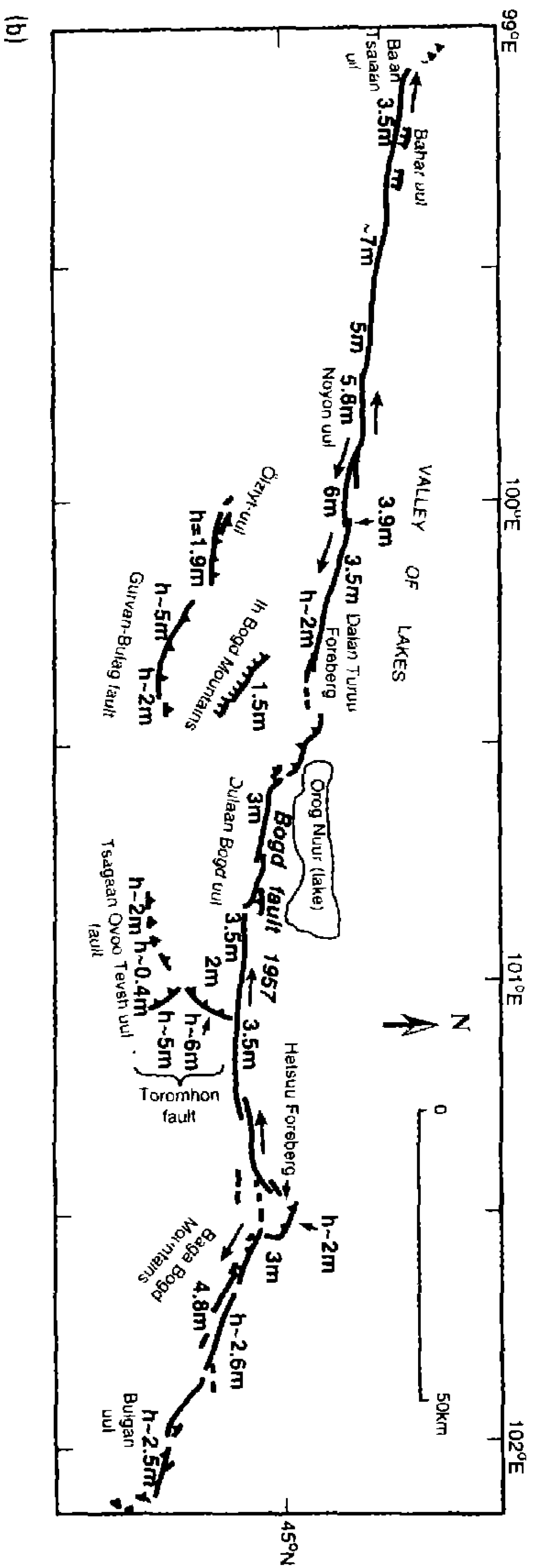
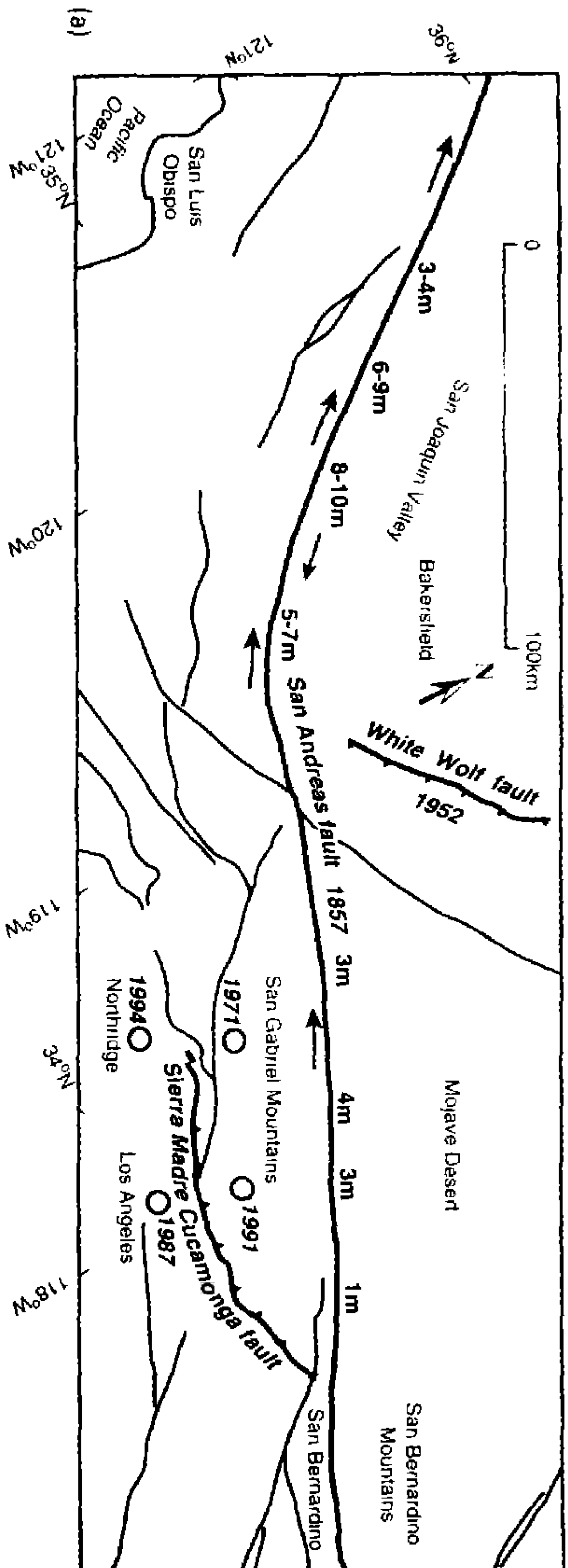
الشكل (٤-٣٧) قطاع مجسم لحركات صدع الدسر الذي تسبب في زلالي سان فيرناندو في عام ١٩٧١ ونورثريدج في عام ١٩٩٤. وفي عام ١٩٩٤ تحرك صدع الدسر الخفي في بيكو ٣,٥ أمتار (١١,٥ قدما) لأعلى من بؤرة عمقها ١٩ كم (١١,٨ ميلا)، وتعرضت المدن الواقعة فوق عاتق لوح الدسر المتحرك شمالا لهزة أرضية شديدة. وفي ١٩٧١ تحركت كتلة جنوبا فوق السطح المائل للشمال من صدع الدسر في سان فيرناندو من بؤرة عمقها ١٥ كم (٩,٣ أميال).



الشكل (٣٨-٤) انهيار مخزن إدارة بولوكس في السوق التجارى بنورثريدج. انهار الجدار الجامد من الطوب أثناء هزة أرضية.



الشكل (٣٩-٤) انهيار الطريق رقمه الموصل بين الولايات والطريق السريع رقم ١٤ بالولاية أثناء زلزال نورثريدج. إذ اهتزت الدعامات الرأسية وبحر الطريق الأفقى بترددات مختلفة ففرقت عن بعضها.



الشكل (٤-٠-٤) خريطة للصدوع في جنوبي كاليفورنيا (أ) وإقليم جوبي ألتاي في منغوليا (ب): (أ) لاحظ مقار التشققات على طول صدع سان أندرياس أثناء زلزال ١٨٥٧. فالدوائر السوداء مراكز سطحية للزلازل حديثة على صدوع الدسر. (ب) لاحظ التشققات على طول الصدوع في زلزال منغوليا في ١٩٥٧: إن تحرك صدع المضرب المنزلق الرئيسي في نفس الوقت مع صدوع الدسر المرتبطة به.

جداول الفصل الرابع

الجدول ٤-١ أكبر الزلازل على سطح الأرض من ١٩٠٤ حتى ١٩٨٤.

Rank	Location	Year	M _w	Cause
1.	Chile	1960	9.5	Subduction—Nazca plate
2.	Alaska	1964	9.2	Subduction—Pacific plate
3.	Alaska	1957	9.1	Subduction—Pacific plate
4.	Kamchatka	1952	9.0	Subduction—Pacific plate
5.	Ecuador	1906	8.8	Subduction—Nazca plate
6.	Alaska	1965	8.7	Subduction—Pacific plate
7.	Assam	1950	8.6	Collision—India into Asia
8.	Banda Sea	1938	8.5	Subduction Pacific/ Indian plate
9.	Chile	1922	8.5	Subduction—Nazca plate
10.	Kuril Island	1963	8.5	Subduction—Pacific plate

مراجع الفصل الرابع

نصوص ومراجع مقترحة Suggested Readings and References

- Anderson, J. G., Bodin, P., Brune, J. N., Prince, J., Singh, S. K., Quaas, R., and Onate, M. (1986). Strong ground motion from the Michoacan, Mexico, earthquake. *Science*, 233, 1043–49.
- Atwater, T. (1989). Plate tectonic history of the northeast Pacific and western North America. *The Geology of North America* (Vol. N, 21–72). Boulder, Colo.: Geological Society of America.
- Boraiko, A. A. (1986). Earthquake in Mexico. *National Geographic*, 169, 654–75.
- California Division of Mines and Geology. (1990). The Loma Prieta (Santa Cruz Mountains), California earthquake of October 17, 1989. Special Publication 104.
- Canby, T. Y. (1990). Earthquake. *National Geographic*, 177, 76–105.
- Earthquake Engineering Research Institute (1996) Scenario for a Magnitude 7.0 Earthquake on the Hayward Fault. EERI HF-96.
- Heaton, T. H., and Hartzell, S. H. (1987). Earthquake hazards on the Cascadia subduction zone. *Science*, 236, 162–68.
- Iacopi, R. (1976). *Earthquake Country*. Menlo Park, Calif.: Lane Books.
- Rial, J., Saltzman, N. G., and Ling, H. (1992). Earthquake-induced resonance in sedimentary basins. *American Scientist*, 80, 566–78.
- U.S. Geological Survey. (1982). The Imperial Valley, California, earthquake of October 15, 1979. Professional Paper 1254.
- U.S. Geological Survey. (1989). Lessons learned from the Loma Prieta, California, earthquake of October 17, 1989. Circular 1045.
- U.S. Geological Survey. (1990). Probabilities of large earthquakes in the San Francisco Bay region, California. Circular 1053.
- Wallace, R. E. ed. (1990). The San Andreas fault system, California. U.S. Geological Survey Professional Paper 1515.

Videos

الفيديو

- Killer Quake. (1994). NOVA/KCET-TV (60 min.).
- The Day the Earth Shook. (1995). NOVA (55 min.).
- The San Francisco Earthquake—October 17, 1989. (1989). ABC News (60 min.).
- When the Bay Area Quakes. (1990). University of California–Berkeley (20 min.).
- Earthquake. (1990). Nova/WGBH-Boston (55 min.).
- Loma Prieta Earthquake. (1992). U.S. Geological Survey (53 min.).
- Earthquake Country. (1987). United Kingdom Channel 4 (52 min.).
- The American Experience: The Great San Francisco Earthquake. (1988). MOIRA Productions (60 min.).
- Raging Planet—Earthquake. (1997). Discovery Channel (50 min.).

الفصل الخامس

مزيد من زلازل الولايات المتحدة وكندا

وفى الأخير كل شىء

شرق صدع سانت أندرياس

مصيره التوقف فجأة

ومن ثمَّ يسقط فى المحيط الأطلسى

مايكل جرانت، ١٩٨٢

اتحاد سان دييجو

يحظى الزلزال باهتمام هيئة المساحة الجيولوجية بالولايات المتحدة إذا كانت قوته ٦,٥ فأكثر، أو كان سببا فى الوفيات والخسائر الجديرة بالاهتمام. ففي عام ١٩٨٦ حدثت فى الولايات المتحدة ثمانية زلازل كبيرة. منها أربعة فى كاليفورنيا متعلقة بحافة الصدع التحويلي فى ألواح المحيط الهادى وأمريكا الشمالية، واثنان فى جزر أليوشيا فى ألاسكا فوق لوح المحيط الأطلنطى المنضوى. وعلى أية حال، ضربت كذلك هزات كبيرة أوهايو وإيداهو. وفى يوم ٣١ يناير ١٩٨٦، شعر الناس بزلزال قوته ٥ بالقرب من بينزفيل ومنتور فى شمال شرقى أوهايو فوق منطقة مساحتها ٢٢٠٠٠ كم^٢ شملت ١٣ ولاية وجزءاً من كندا. وتلقى ١٧ شخصا علاجاً من الإصابات. وحدثت الوفيات الوحيدة بسبب الزلازل فى الولايات المتحدة فى يوم ١٢ مارس ١٩٨٦ فى منجم الجمعة السعيدة بالقرب من موللان فى إيداهو. وكان الزلزال

بقوة ٢ فقط ولكن الهزة أدت إلى انفجار الصخور الفائقة الإجهاد؛ فقتلت أحد عمال المنجم.

ويتنامى الوعي بأن الزلازل المدمرة التى تنجم عنها وفيات تعتبر مشكلة عامة وليست مجرد حدث يحدث فى كاليفورنيا. ويمثل الشكل (٥-١) خريطة الولايات المتحدة توضح المراكز السطحية لزلازل القرن العشرين ذات القوة الأكبر من ٥, ٤. وقد تحدث الزلازل فى الريف (الجدول ٥-١).

ويوضح الشكل (٥-١) أن المراكز السطحية للزلازل تتجمع فى مناطق معينة. ويناقش هذا الفصل زلازل محددة وأسبابها فى الأقاليم التسعة؛ أربعة منها فى غربى الولايات المتحدة حيث لا يزال الناس يشعرون بتأثير نشاط الألواح التكتونية، وأربعة فى الوسط والشرق المستقرين (غير النشيطين تكتونيا) فى الولايات المتحدة، وأخيرا يتناول العلاقة بين الزلازل والبراكين فى هاواى.

غربى أمريكا الشمالية: الزلازل المتعلقة بالألواح التكتونية

تتسبب المساحات الهائلة والأحجام الضخمة للألواح المحيط الهادى وأمريكا الشمالية فى تجميع هائل وتصريف للطاقة فى غربى الولايات المتحدة (الشكلان ٢-٧، ٤-٢). تذكّر أن لوح أمريكا الشمالية لا يزال متحركا فى لوح المحيط الهادى بمعدل ٢, ٥ سم/سنة (١ بوصة كل سنة) وأن حجما ضخما من لوح فاراللون انضوى تحت أمريكا الشمالية (الشكل ٤-٢). كل هذا النشاط رفع غربى الولايات المتحدة وأوجد إقليما ممتدا من الجبال العالية والهضاب المرتفعة. وضوابط هذا النشاط فى الألواح التكتونية سببت الزلازل من واشنطن حتى نيو مكسيكو ومن مونتانا حتى كاليفورنيا ومواقع أخرى فى الغرب.

الشمال الغربى المطل على المحيط الهادى:

أوريجون وواشنطن وبريتيش كولومبيا

بوجيت ساوند فى واشنطن فى ١٩٤٩ و ١٩٦٥ : جلب شهر أبريل فى السنوات الأخيرة صدمات زلزالية عنيفة لمدن بوجيت لولاندز (الشكل ٥-٢). تسببت فى اثنين من هذه الزلازل الكبيرة حركات الانضواء إلى أسفل ناحية الشرق للوح جوان دى فوكا. فى الساعة ١٥٥ صبح يوم ١٣ أبريل ١٩٤٩ انبعثت ضربة عنيفة من حركة عمقها ٥٤ كم (٣٤ ميلا) تحت منطقة تاكوما أوليمبيا. كانت قوة الموجة السطحية ٧,١ (Ms) وراح ضحيتها ثمانية أشخاص. وكان من الممكن أن تكون أسوأ من ذلك نظرا إلى أنها حدثت أثناء النهار وأتلفت كثيرا من المدارس؛ ولكن لحسن الحظ وقعت فى أسبوع أجازة الربيع، حيث كانت المدارس خالية فى معظمها من التلاميذ.

وفى الساعة ٧,٢٨ من صبح يوم ٢٩ أبريل ١٩٦٥ ترنح اللوح ثانية ومال إلى أسفل وكان عمق الحركة فى هذه المرة ٦٠ كم (٣٧ ميلا) تحت منطقة تاكوما سييتل. قتلت هذه الموجة السطحية التى بلغت قوتها ٦,٥ (Ms) سبعة أشخاص. وبلغت جملة قيمة الدمار مقدرة بالدولار فى ١٩٨٤ حوالى ١٥٠ مليون دولار فى ١٩٤٩ و ٥٠ مليون دولار فى ١٩٦٥. وفى كلا الحالتين تسبب السكن فى مناطق الرواسب الرخوة ومناطق الدكة الصناعية فى حدوث مشكلات كبرى فى المنشآت القائمة عليها أثناء الهزة؛ إذ وقعت خسائر كبيرة فى المباني القديمة المبنية بالمون الرديئة والمباني غير الوثيقة الرباط بين عناصرها الأفقية والرأسية. ولقيت المنازل ذات المستويات المتباينة أكثر من غيرها من الدمار؛ نظرا لتلقى أقسامها المختلفة اهتزازات ذات ترددات مختلفة؛ الأمر الذى مزقها وباعد بين أجزائها.

الزلازل فى المستقبل فى إقليم واشنطن

يتركز التأكيد على مخاطر الزلازل فى الشمال الغربى المطل على المحيط الهادى من ألواح الانضواء. فكلما الزلازلين الواقعين فى عامى ١٩٤٩ و ١٩٦٥ كانت بؤرتهمما

تقع فى عمق اللوح المنضوى. وعندما تصور الموجات الزلزالية إلى أعلى لأكثر من ٣٠ ميلا تفقد بعضا من طاقتها وبهذا تقل الهزة عند وسط الأرض. ولكن الزلازل التى تتراوح قوتها بين ٦,٥ درجة و٧ درجات فى صدع قريب من السطح يشكل تهديدا كبيرا، ويبدو الآن أن مثل هذه الزلازل تقع فى الإقليم. فلوح جوان دى فوكا المنضوى عمره ١٠-١٥ مليون عاما فقط وهو دافئ وطاف بحيث يتزاوج مع لوح أمريكا الشمالية. ويتضح هذا التعشيق من صدوع المضرب المنزلق الواقعة فوق لوح جوان دى فوكا التى تقطع كذلك لوح أمريكا الشمالية الراكب.

ومنطقة صدع سييتل متجهة شرقا وغربا وتمتد على طول الجانب الجنوبي من الطريق السريع رقم ٩٠ المار بين الولايات ويمر بمدينة سييتل وكذلك بموقع استاد كينجدم الرياضى القديم (الشكل ٥-٢). ويبلغ اتساع منطقة الصدع ٤-٦ كم (٥,٥-٣,٧ أميال) وبه ثلاثة أو أكثر من الصدوع المعكوسة التى تميل إلى الجنوب. وحدثت بالصدع حركة كبيرة منذ حوالى ١١٠٠ سنة، تؤكدتها الظواهر التالية: (١) ارتفع خط الساحل السابق عند ريستوريشان بوينت حوالى ٧ أمتار (٢٣ قدما) فوق خط المد الأعلى فى حركة صدعية واحدة. وهذا الزلزال يبدو أن قوته كانت فى أواسط العقد السابع تزيد عدة أضعاف عن زلزال الدورة الرياضية العالمية فى ١٩٨٩ فى منطقة خليج سان فرانسيسكو. (٢) حدثت عدة انزلاقات أرضية كبيرة فى ذلك الوقت بما فيها تلك التى حملت الأشجار وهى فى وضع النمو إلى قاع بحيرة واشنطن. ويقدر عمر هذه الأشجار بتحديد الكربون - ١٤ فيها. (٣) تبين وجود رواسب سنامية عديدة فى الطبقات الرسوبية فى المنطقة. وتشير الكتل الخشبية وجذوع الأشجار التى حملتها ودفنتها هذه الموجات الهائلة إلى أن تاريخها يتماثل مع هذه الفترة. (٤) ويظهر نفس التاريخ فى أعمار ستة جلاميد صخرية كبيرة فى جبال أوليمبيك. ويبدو أن هذه الجلاميد تحركت بفعل الزلزال. (٥) تكونت طبقات من الرواسب الخشنة فى قاع بحيرة واشنطن بحركة انحدار وإعادة ترسيب الرواسب فى مياه أعمق.

وهذه الترسيبات المميزة (طبقة العكارات) يبدو أنها حدثت بفعل الزلزال ذاته. ويتأمل كل هذه العناصر مجتمعة يتضح أن منطقة بوجيت ساوند معرضة لحركات صدوع كبرى تشق سطح الأرض الذى بنيت فوقه المدن.

ويقع جزء من سييتل فى حوض عمقه ١٠ كم (حوالى ٦ أميال) مملوء بالرواسب الرخوة التى تهتز بعنف أثناء الزلزال. ويتذكر سكان سييتل مخاطر زلزالهم فى يوم ٣ مايو ١٩٩٦ عندما ضرب زلزال قوته ٤, ٥ شمال شرقى المدينة، والهزة التى أصابت وسط المدينة أصابت كذلك استاد كينجدام الذى كان غاصا بالمتفرجين فى مباراة الدورة السابعة بين مارينز سييتل وهنود كليفلاند مما أدى إلى تأجيل المباراة. وحاول مدير فريق مارينز سييتل أن يتخذ الزلزال ذريعة لفسخ عقد إيجار استاد كينجدام. وعندما يحدث الزلزال الكبير التالى (قوته أكبر من ٦, ٥) فى صدع سييتل يتسبب فى مستويات مذهلة من الخسائر فى الأرواح والأموال.

غربى الحوض الكبير: شرقى كاليفورنيا وغربى نيفادا

وادی أووین فى كاليفورنيا فى ١٨٧٢. كان عالم الطبيعة المعروف جون ميور فى مقصورته بوادی یوسمايت، وحينئذ:

فى الساعة الثانية والنصف من صباح ليلة قمراء من شهر مارس، أيقظنى زلزال هائل، ونظرا إلى أننى لم أتعرض لعاصفة من هذا النوع، فإن حركة الرعشة الغريبة لا يمكن تجاهلها، فهرولت خارجا من مقصورتى، وأنا مسرور وخائف فى نفس الوقت وصحْتُ، «يا لك من زلزال نبيل!» وأنا واثق من أننى سوف أتعلم شيئا جديدا.

وكانت الهزات عنيفة ومتنوعة وتعاقت بسرعة حتى تعين على أن أحفظ توازنى فى السير بعناية وكأئننى أسير على سطح سفينة تتقاذفها الأمواج، وبدا لى من المستحيل أن تنجو جروف الوادى من التمزق. وخشيت بالذات أن تهتز الصخرة الحارسة ذات الواجهة الملساء التى تقف كالبرج فوق مقصورتى وأن تسقط؛ فلجأت أويا إلى خلف شجرة صنوبر صفراء ضخمة تعصمنى من

الشذرات التى يمكن أن تتناثر من الجلود. وما هى إلا دقيقة أو اثنتين حتى اشتدت الهزات وصارت أعنف - واختلط ومض الصخور المندفعة أفقيا بالشقوق المتوية والانحدارات والانفجارات والضربات العشوائية - كما لو كانت الطبيعة تدمر معبدها فى يوسمايت ثم تستعد لبناء أفضل منه.

فماذا حدث فى يوم ٢٦ مارس عام ١٨٧٢؟ انطلقت منطقة الصدع فى الجانب الغربى من وادى أووين على طول ١٦٠ كم (١٠٠ ميل). وهذا هو ثالث أطول الشقوق فى الصدوع فى تاريخ كاليفورنيا (الشكل ٥-٣). واليوم يمر الطريق السريع رقم ٢٩٥ فى اتجاه الشمال - الجنوب تماما على طول الصدوع. فالمنطقة التى تصدعت فى عام ١٨٧٢ يبلغ اتساعها ١٥ كم (١٠ أميال) وبها هبوط عمودى (تصدع عادى) قدره ٧ أمتار (٢٣ قدما) وتفرعات أفقية (يمينية جانبية) حتى ٥ أمتار (١٦ قدما). وكان المركز السطحى يقع بالقرب من مدينة لون باين، حيث قتل ٢٧ شخصا يمثلون حوالى ١٠٪ من مجموع السكان عند انهيار منازلهم المبنية بقوالب الطين الجاف والأحجار. وتقدر قوة الزلزال من ٧,٨ حتى ٨. ولهذا فإن الزلازل الكبرى تقع بعيدا عن منطقة الساحل وصدع سان أندرياس.

طبيعة الزلازل غربى الحوض الكبير. يمر حزام الزلازل هذا فى شرقى كاليفورنيا وغربى نيفادا وله خط مميز من المراكز السطحية (الشكل ٥-١) والصدوع (الشكل ٥-٤). وفى الزمن التاريخى تقع الزلازل بمعدل واحد قوته حوالى ٦ كل عقد وواحد قوته حوالى ٧ كل ٢٧ عاما. فلماذا كل هذه الزلازل؟ ففى ٣٠ مليون سنة الأخيرة اتسع الإقليم الواقع بين سيرا نيفادا الشرقية فى كاليفورنيا وجبهة جبل واساتش فى وسط يوتاه فى اتجاه شرقى وغربى، لمسافة عدة مئات من الكيلومترات (الشكل ٥-٥). وهذه المنطقة الفسيحة تعرف بالحوض الكبير أو مقاطعة الحوض وسلسلة الجبال (الشكل ٤-١٧). وقد تضاعف عرض نيفادا تقريبا فى قلب المقاطعة الفسيحة. ويحدث حوالى ٢٠٪ من الحركة النسبية بين ألواح المحيط الهادى وأمريكا الشمالية فى مقاطعة الحوض وسلسلة الجبال. وتقوم حركات التمدد المتباعدة فى الألواح التكتونية بتوسيع المنطقة مخلّفة العديد من سلاسل الجبال المتجهة شمالا وجنوبا والمائلة للخلف وتفصلها

أحواض هابطة مليئة بالرواسب (الشكل ٥-٥). ويحدث التمدد مصاحبا للتصدع العادي، وبهذا يتغلب الانفصال الرأسى على الانزلاق الأفقى.

وتحدث بعض الزلازل الكبرى فى الزمن التاريخى فى القطاع الغربى من مقاطعة الحوض وسلسلة الجبال (الشكل ٥-٤): (١) فى يوم ٢ أكتوبر ١٩١٥ حدث زلزال كبير جنوبى مينيموكا فى وادى بليزانت فى نيفادا. شق هذا الزلزال وقوته ٧,٧ السطح لمسافة ٥٩ كم (٣٧ ميلا). وكان الانزلاق فى معظمه عموديا (عاديا) بإزاحة حتى ٥,٨ أمتار (١٩ قدما) (الشكل ٥-٦). وكانت لبعض أجناب الصدع مكونات لتفريعات يمينيه جانبية حتى ٢ مترين (٦,٥ أقدام). (٢) وفى يوم ٢١ ديسمبر ١٩٣٢ حدث زلزال قوته ٧,٣ بالقرب من جبل سيدار فى نيفادا شق الأرض لمسافة ٦١ كم (٣٨ ميلا). (٣) وكان عام ١٩٥٤ عام الزلازل الكبرى فى نيفادا. منها زلزال قوته ٦,٦ وقع فى يوم ٦ يوليو وزلزال قوته ٦,٩ فى يوم ٢٤ أغسطس بالقرب من فاللون وزلزالان قوتهما ٧,٣ و ٦,٩ صدما وادى ديكسى فى يوم ١٦ ديسمبر. ويوضح الشكل (٥-٤) عدة ثغرات فى حزام الزلازل التاريخى. وربما حدثت مفاجآت لسكان هذه المنطقة ذات الثغرات الزلزالية.

الحزام بين الجبال فى يوتاه وإيداهو ويومينج ومونتانا

بحيرة هيجين فى مونتانا فى ١٩٥٩. تعتبر جبال روكى فى زمن الصيف منطقة جميلة. وفى ليلة قمرء فى ١٧ أغسطس ١٩٥٩ استقر المصيفون فى مخيماتهم فى منطقة المخيمات فى روك كريك عند سفوح الحوائط العليا فى منخفض وادى نهر ماديسون. ولكن فى الساعة ١١,٣٧ مساءً هبت ريح صرصر عاتية غربية على الوادى بسرعة عالية؛ إذ تسبب انزلاق صخرى هائل فى هذه الرياح. وسقط من الحائط الجنوبى للوادى ٤٣ مليون ياردة مكعبة من الصخور انزلقت فى المنحدر الشديد عبر نهر ماديسون وتحركت حوالى ١٥٠ مترا (٥٠٠ قدم) إلى أعلى الحائط الشمالى (الشكل ٥-٧)؛ فدفنت ٢٦ مصيفا. ودفن الانزلاق الأرضى الهائل الوادى بعمق ٦٧ مترا (٢٢٠ قدما) وكون سدا طبيعيا فاحتجز قدرا كبيرا من الماء فى بحيرة الزلزال.

فما سبب هذا الزلزال المدمر للحياة؟ فى بحيرة هيجين التى تقع مباشرة غربى المنتزه الوطنى بييللويستون تحرك صدعان شبه متوازيين (هيجين وريدكانيون) بفاصل زمنى بينهما قدره خمس ثوان بزلزالين قوة أحدهما $m_b 6,3$ وقوة الآخر $M_s 7,5$ (الشكل ٥-٨). وهذان الصدعان العاديان هبط جانباهما الجنوبى الغربى ٧ أمتار (٢٣ قدما) و ٧,٨ أمتار (٢٦ قدما) تحت أسطح الصدوع بميل ٤٥ حتى ٥٠ درجة إلى الجنوب الغربى وأسقطا كذلك الطرف الشمالى لبحيرة هيجين. وأيقظ الزلزال رئيس العمال فى سد بحيرة هيجين، فارتنى ملابساه وخرج ليلقى نظرة. فقال رئيس العمال هنجر فورد فى أقواله ما يلى:

كان الغبار كثيفا لدرجة تحجب الرؤية. ولا يمكن التنفس إلا بصعوبة أو غير ذلك. وحجب الغبار القمر. وتوجهنا إلى مقياس النهر.... فبمجرد وصولنا إليه سمعنا زئيرا ورأينا هذا الحائط من الماء يتدفق فى النهر.... فظننا أن السد تدمر... ثم توجهنا إلى السد. وعندما وصلنا إليه تعذرت الرؤية كثيرا، ولكننى ذهبت إلى طرف السد ولم أر هناك إلا سوادا. فلم يكن هناك ماء. فلا ماء أمام السد على الإطلاق. ولم أكن أتصور ماذا يحدث. وعندئذ بدأ الغبار ينقشع وبدأ القمر يظهر قليلا. وحينئذ حضر الماء. وكان كله فى الطرف الآخر من البحيرة... ورجعنا إلى الخلف سريعا عندما سمعنا صوت الماء مقبلا إلينا. فقد سمعناه قبل أن نراه. وعندما عبر الماء فوق السد كان جدارا من الماء يبلغ ارتفاعه ثلاثة أو أربعة أقدام وتدفق كما لو كان لمدة ٢٠ دقيقة ولكنها لم تدم أكثر من ٥ أو عشر دقائق فقط. فلم يكن عندى إحساس بالوقت. فتدفق الماء لحظة ثم بدأ يهبط. ثم تبدد كل شىء، ولم يعد هناك ماء قط للمرة الثانية. وجفت البحيرة تماما على حسب رؤيتنا. وكل ما رأيناه خلف السد هو الظلام الدامس ثانية، ومرت فترة تبدو ١٠-١٥ دقيقة أتى بعدها الماء ثم تكرر الشىء ذاته ثانية.

كان رئيس العمال هنجر فورد شاهد عيان لمشهد الموجة العارمة فى البحيرة حيث تدفق الماء متأرجحا إلى الأمام وإلى الخلف لمدة ١١,٥ ساعة. وهذه الموجة المتأرجحة تشبه حوض الاستحمام المملوء بالماء عندما تترقد فيه وتنهض منه بسرعة ويتأرجح الماء فيه إلى الأمام وإلى الخلف. وسقط فى البحيرة مساحة كبيرة من اليابسة مقدارها يزيد عن ٥٠ ميلا مربعا على الجانب الشمالى من بحيرة هيجين من ارتفاع ١٠ أقدام. وما ترسب فى قاع البحيرة أدى إلى سلسلة هائلة من الأمواج العاتية المتأرجحة.

قمة بوراه فى إيداهو فى ١٩٨٣ بعد تمام الساعة ٧ من صباح يوم ٢٨ أكتوبر ١٩٨٣ انطلق صدع نهر لوست ريفر على عمق ١٦ كم (١٠ أميال) تحت السطح وانشق ٠,٤٥ مترا (١,٥ قدما) أفقيا نحو الشمال الغربى و٢,٧ أمتار (٩ أقدام) رأسيا فى زلزال قوته $M_s ٧,٣$ (الشكلان ٥-٨ ، ٥-٩). وعندما انتهت حركة الصدع ارتفعت قمة بوراه وهى أعلى نقطة فى إيداهو ٠,٣ مترا (١ قدما) وانخفض قاع وادى ثاوزاند سبرينجز عدة أقدام. وتسببت الهزة الأرضية فى أن يكون وادى ثاوزاند سبرينجز (الألف ينبوع) اسما على مسمى، إذ انبجست المياه الجوفية المضغوطة بالضغط التى تحت سطح الأرض فى نوافير يصل ارتفاعها إلى ٢-٦ أمتار (١٠-٢٠ قدما). وانطلق الماء المضغوط على شكل بركان، قاذفا رواسب رملية تكون مخروطات وتملا فوهاتها بالماء.

الحزام الزلزالى بين الجبال. وتتجه منطقة الحزام الزلزالى بين الجبال نحو الشمال بطول ١,٥٠٠ كم (٩٣٠ ميلا) على الأقل وحوالى ١٠٠-٢٠٠ كم (٦٠-١٢٥ ميلا) بالعرض (الشكل ٥-٨). ويمتد الحزام على شكل قوس من جنوبى نيفادا وشمالى أريزونا حتى شمال غربى مونتانا. ويمر النشاط الزلزالى تماما بحدود الحوض الكبير مع هضبة كولورادو وسط وشمالى جبال روكى (الشكل ٥-٥). والواقع، أن الحزام الزلزالى هو الحد الشرقى لمقاطعة الحوض وسلسلة الجبال. والصدوع التى تعين الحدود على الجانب الشرقى للحوض الكبير تنحدر نحو الغرب بينما الصدوع التى تعين الحدود على الجانب الغربى (فى شرقى كاليفورنيا وغربى نيفادا) تنحدر نحو الشرق. وتؤكد الزلازل أن هذا الجزء من العالم امتد وتباعد.

وفى الأزمنة التاريخية، تحدث الزلازل الكبيرة فى شرقى كاليفورنيا وغربى نيفادا فى الغرب وفى مونتانا وإيداهو فى الشرق ولكن ليس فى قطاعات طويلة من صدوع يوتاه، ويعيش حوالى ٧٥٪ من سكان يوتاه على مرأى من منحدرات جبهة واساتش البالغ طولها ٣٧٠ كم (٢٣٠ ميلا)، وهى منطقة الصدوع العادية التى تفصل الجبال عن الحوض الكبير (الشكل ٥-١٠). ولم يُبلغ أحد عن وقوع زلازل كبيرة على طول صدوع جبهة واساتش منذ وصول بريجهام يونج فى ١٨١٧. وفى عام ١٨٨٢ حذر عالم الجيولوجيا المعروف جى كى جيلبيرت قوم يوتاه بتهديد الزلازل لهم والمخاطر التى تحيق بمدينتهم فى مقاله **منبر سولت ليك**. وتوضح الصدوع الواضحة المعالم بجلاء احتمالات حدوث الزلازل (الشكل ٥-١١). فقطاعات الصدع الموضحة فى الشكل (٥-١٠) يعتبر كل منها قادرا على إحداث زلازل مثلما حدث فى بحيرة هيدجين وقمة بوراه. وفى ٦٠٠٠ سنة الأخيرة كان يحدث زلازل قوته ٦,٥ أو أكثر كل ٢٥٠ سنة فى أحد صدوع منطقة نظام واساتش. وتقع أجزاء من مدينة سولت ليك وبروفو وأوجدين فوق رواسب البحيرة الرخوة التى تهتز بعنف أثناء الزلازل الكبرى. ولم يتحرك قطاع الصدع القريب من مدينة بريجهام فى ٢٤٠٠ سنة الماضية؛ ولكنه مرشح لاحتمال حدوث زلازل كبير به.

أخدود ريوجراند فى نيومكسيكو وكولورادو وأقصى غربى تكساس ومكسيكو

يعتبر أخدود ريوجراند واحدا من أكبر الأخاديد القارية فى العالم. فهو سلسلة مترابطة غير متناسقة من الوديان الصدعية التى تمتد أكثر من ١,٠٠٠ كم (٦٢٠ ميلا) (الشكلان ٥-١٢ ، ٥-١٣). وهنا تسخن القشرة القارية وتتمدد من أسفل منها.. وتستجيب القشرة بالترقيق الذى يشمل الصدوع (العادية) التوسعية. وفى ٢٦ مليون سنة الأخيرة كان هناك حوالى ٨ كم (٥ أميال) من القشرة المتمددة بالقرب من ألبوكيرك ونيومكسيكو وبمعدل حوالى ٣ مم/سنة. والحركة السائدة على الصدوع الرأسية ومجموع التشققات ٩ كم (٥,٥ أميال). وحوض الأخدود عميق بشكل كبير فى بعض المناطق، ولكن معظم تضاريس الأرض الرأسية التى تكونت بفعل تفريعات الصدع قلت

بسبب الكميات الوفيرة من المواد البركانية والرواسب التى تدفقت فى الأخدود عبر ملايين السنين.

وقد جذب الحوض الطبوغرافى لوادى الأخدود نهرا كبيرا (ريوجراند)، أغرى المواطنين بالتالى للاستيطان قرب مياهه، ويشمل الاستيطان الآن ألبوكيرك وسوكورد ولاس كروسيز فى نيومكسيكو والباسو فى تكساس وسيوداد جواريز فى مكسيكو. وكانت الزلازل التاريخية ذات قوة صغيرة ومتوسطة فقط ولكن القشرة الأرضية القارية مستمرة فى الامتداد مهيئة بذلك فرصا حقيقية للزلازل الكبرى.

الزلازل داخل الألواح فى الوسط المستقر للولايات المتحدة

توضح خريطة المراكز السطحية للزلازل فى الولايات المتحدة (الشكل ٥-١) أن الثلث الغربى من البلاد مرتفع المستوى بسبب النشاط الزلزالى، ولكن هناك مجموعات من المراكز السطحية فى الوسط والشرق المستقرين فى الولايات المتحدة فى الأقاليم التى تقع داخل الألواح بعيدا عن حواف الألواح النشطة. وليس فيها مراكز سطحية كبيرة، بل فيها بعض الزلازل الفردية التى تعتبر كبيرة.

نيومدريد فى ميسورى فى ١٨١١-١٨١٢

ضربت سلسلة متتابعة من الزلازل الجزء الأوسط النادر السكان من وادى نهر ميسيسيبى فى زمن الحرب فى عام ١٨١٢، وفى الفترة ما بين ١٦ ديسمبر ١٨١١ و ١٥ مارس ١٨١٢ سجل جيرد بروكس عالم الزلازل الهاوى فى لويسفيل فى كنتاكي ٨٧٤,١ زلزالا. صنف ثمانية منها بأنها عنيفة وعشرة أخرى بأنها شديدة جدا. وحدثت أكبر أربعة زلازل: فى ١٦ ديسمبر ١٨١١ (اثنان)، وفى ٢٣ يناير ١٨١٢ وفى ٧ فبراير ١٨١٢. وتحددت مواقع البؤرات تحت الأكداش السميكة من الرواسب حيث يلتقى نهر

مسيبي بنهر أوايو عند الطرف الأعلى للمنحنى الكبير لنهر مسيبي (الشكل ٥-١٤). وهذه الزلازل الكبرى تسمى زلازل نيو مدريد التي استمدت اسمها من مدينة يسكنها ألف نسمة. ورغم أن قليلا من الناس قتلوا، فإن الدمار فى الأرض والمباني فى نيومديرى دق ناقوس نهاية أهميتها بصفتها بوابة إلى الغرب.

ويروى أحد الشهود العيان رواية زلزال نيومديرى فيقول:

كانت الضوضاء مصحوبة بحركة الأرض كلها وتأرجحت بعنف كأمواج البحر، وهى تقذف الأشخاص بعيدا. وكانت الأمواج ترتفع عدة أقدام، وكادت تنفجر عند أعلى نقطة فيها؛ وتقذف كميات كبيرة من الرمال وأحيانا طفلا صلصاليا من القار الأسود إلى ارتفاعات عالية وإلى أبعاد تصل إلى ٤٠ قدما وحتى إلى قمم الأشجار. وصاحب الانفجارات الأرضية وميض يشبه الانفجارات الغازية أو مرور التيار الكهربائى من سحابة إلى أخرى ولكن بدون لهب حارق. وكانت هناك غازات كبريتية جعلت الماء ملوثا وغير صالح للاستخدام. واكفهرت السماء بحيث بدت للبعض كأنها بخار كثيف حجب أشعة الشمس. وعند انفجار الأمواج تكونت شقوق كبيرة لم يلبث بعضها أن قفل ثانية بينما بلغت الشقوق الأخرى ساعات مختلفة تصل إلى ٣٠ قدما وبأطوال مختلفة. وكانت هذه الشقوق متوازية بصفة عامة، ويتجه بعضها وليس كلها إلى الشمال وإلى الجنوب. وفى بعض الأحيان وبدلا من الشقوق الممتدة إلى مسافات لا بأس بها كانت هناك فجوات دائرية قطر الواحدة منها يتراوح بين خمسة أقدام وثلاثين قدما، تحيط بها رمال وطفلة صلصالية من القار الأسود، احترقت فيما بعد وانبعثت منها رائحة كبريتية منفرة.

ويتكون الإقليم من رواسب سميكة من الرمال المتهايلة والطين المنقوع فى الماء . رُسبها نهر مسيبي. وهذه المواد المتهايلة زادت من شدة هزات الزلازل، وتدفقت

الرواسب الضعيفة مثل الماء، فانبعست كبراكين الرمال وارتجفت مثل الجيلي في مواقع أخرى. ولا يزال الكثير من الآثار البعيدة المدى في زلزال نيومدريد ماثلا للأعين في التضاريس الطبوغرافية. وهبطت منطقة طولها ٢٤٠ كم (١٥٠ ميلا) على طول نهر مسيسيبي في منطقة شديدة الانخفاض مكونة بحيرتين جديدتين: بحيرة سانت فرانسيس وطولها ٦٠ كم (٣٧ ميلا) وعرضها ١ كم (٠,٦٢ ميلا)، وبحيرة ريلفوت في تينيسي وطولها ٣٠ كم (١٩ ميلا) وعرضها ١١ كم (٧ أميال) وعمقها حتى ٧ أمتار (٢٣ قدما). وبحيرة ريلفوت الآن مأوى للطيور وتحتوى على الجذوع الرمادية لأشجار السرو الصنوبرى التى غرقت منذ ١٨٥ عاما مضت، ولا تزال باقية كشاهد صامت على أحداث التشوه الأرضية فى المنطقة (الشكل ٥-١٥). وتشمل المعالم الطبوغرافية الأخرى التى أحدثتها الزلازل: (١) الجروف الطويلة المنخفضة فى الريف ومجارى الأنهار ذات الشلالات الجديدة التى يصل ارتفاعها إلى مترين (٧ أقدام)؛ (٢) القباب التى ارتفعت ٦ أمتار (٢٠ قدما) وبأطوال تصل إلى ٢٤ كم (١٥ ميلا)؛ (٣) المستنقعات السابقة التى ارتفعت وتحولت إلى تربة محمصة.

لم يشهد تاريخ الولايات المتحدة زلازل مثل زلازل نيو مديرد نظرا لعدد الزلازل الكبيرة ذات الفترات الزمنية المتقاربة وحجم المناطق التى شعرت بها (الشكل ٥-١٦). وشعرت بهذه الزلازل المناطق من كندا حتى خليج المكسيك، ومن جبال روكى حتى ساحل المحيط الأطلنطى؛ حيث توقفت الساعات ودقت الأجراس وتشرخ الجص. وهذه الزلازل العملاقة ليست حدثا غريبا؛ فالتاريخ الشفاهى للهنود الأمريكيين المحليين يبلغنا بأحداث مأساوية سابقة. وتدلنا التحاليل التكتونية الحديثة للرواسب والأخشاب على وقوع زلازل كبرى كذلك فى الأعوام ٥٠٠ و ٩٠٠ و ١٣٠٠ و ١٦٠٠ تقريبا.

فهل تعتبر أحجام المناطق التى شعرت بالزلازل فى الشكل ٥-١٦ مؤشرا جيدا لقوة الزلزال؟ وهل كانت زلازل نيو مديرد أكبر بأضعاف المرات من زلزال سان فرنسيסקو فى ١٩٠٦؟ ليس ذلك شرطا. فحجم المنطقة التى شعرت بالزلازل يتوقف على نوع الصخور التى اهتزت. فزلزال نيو مديرد هزت صخور الأساس الصلدة (عمرها أكثر من بليون سنة) داخل القارة؛ إذ دقت كالأجراس. وانتقلت الطاقة الزلزالية بعيدا وبكفاءة؛ بينما وقع زلزال سان فرنسيסקو فى صخور أقصر عمرا ومشققة

تكتونيا بشكل يخمد سريعا طاقة الزلزال، بحيث تقتصر الهزة على منطقة أصغر. وكانت القوتان متساويتين في زلزال نيو مدريد وزلزال سان فرانسيسكو.

وقدّرت قوة الموجات الداخلية (m_b) في زلازل نيو مدريد الأربعة ٧,٢ و ٧,٠ و ٧,١ و ٧,٤ وقُدّر عزم القوة فيها ٨,٢ و ٧,٨ و ٨,١ و ٨,٣ (M_w). وعندما تعود الزلازل الكبيرة ثانية إلى الإقليم الأعلى لنهر مسيسيبي، كانت احتمالات الوفيات والدمار مذهلة (الشكل ٥-١٧): (١) فالمنطقة مكتظة بالسكان (مثل سانت لويس وممفيس)؛ (٢) ومعظم المباني ليست مصممة لتحمل الزلازل الكبيرة؛ (٣) تضخم الرقعة الواسعة والسّمك الكبير للرواسب الرخوة الهزات الزلزالية (تذكر أحداث مكسيكو سيتي في ١٩٨٥ والدورة العالمية في ١٩٨٩)؛ (٤) وتتعرض المساحات الواسعة جدا لهزات عنيفة، وتشمل الأضرار التي يحدثها زلزال قوته ٨ آلاف من الوفيات وخسائر تقدر بعشرات المليارات من الدولارات. فإذا كانت هناك أنباء سارة فهي انخفاض معدل تكرار هذه الزلازل العملاقة، وينبغي هنا أن نتعلم دروس التاريخ، فنبنى جميع الإنشاءات الحديثة في الإقليم بحيث تتحمل الزلازل الكبرى.

والتهديد بالزلازل في هذا الإقليم يشمل كذلك زلازل أصغر، فتحليل الخنادق التي تقطع الصدوع والطيات على ضوء علم الزلازل القديمة دعا هيئة المساحة الجيولوجية في الولايات المتحدة إلى التنبؤ بنسبة ٩٠٪ من احتمال حدوث زلزال قوته ما بين ٦ حتى ٧ خلال ٥٠ عاما القادمة. تذكّر أن زلزال نورثريدج في ١٩٩٤ كانت قوته ٦,٧ وقتل فيه ٦١ شخصا وتسبب في خسائر قدرها ٢٠ مليار دولار. ورغم قلة احتمال حدوث الزلازل في وسط الولايات المتحدة. فإن أضرارها كبيرة.

والسؤال الوثيق الصلة بالموضوع يتعلق بأسباب هذه الزلازل. وحيث إن نيو مدريد تقع داخل القارة بعيدا عن حواف الألواح النشطة، فلماذا تحدث فيها مثل هذه الزلازل؟ والجواب لم يحسم بعد؛ ولكن النظرة إلى التاريخ الجيولوجي للإقليم تزودنا ببعض الأفكار.

أخدود ريلفوت فى ميسورى وأركانساس وتينيسى وكنتاكي وإيللينوى

يوضح الشكل (١-٥) أن المراكز السطحية للزلازل فى منطقة نيومدريد تصطف فى نظام مستطيل. ويوضح المنظر القريب فى الشكل (١٤-٥) أن المراكز السطحية للزلازل الكبيرة أيضا تصطف على طول وادى نهر مسيسيبى. وفى الشكل (١٨-٥) خريطة لجنوبى وشرقى الولايات المتحدة توضح توزيع رواسب السهل الساحلى - الرمال والطين التى رسبت بها الأنهار التى نحتتها من اليابسة فى أمريكا الشمالية. ويمثل منحنى المسيسيبى أحد المعالم البارزة. فلماذا ترسبت هذه الرواسب بهذا البعد فى قارة أمريكا الشمالية؟ ولماذا تتوزع الرواسب موازية للمراكز السطحية؟ فهل هى محض الصدفة التى جعلت نفس النظام الخطر يعاود الظهور من جديد؟ كلا. وهل هى محض الصدفة التى جعلت نهر مسيسيبى يتدفق على طول مجراه الحالى؟ كلا.

تحدد الدراسات التى أجريت للموجات الزلزالية والجاذبية والمغناطيسية شكل البناء الخطى فى صخور الأساس التى تقع تحت إقليم نيومدريد (الشكل ١٩-٥). وهناك منخفض متجهها فى العمق إلى الشمال الشرقى يزيد طوله عن ٣٠٠ كم (١٩٠ ميلا) وعرضه حوالى ٧٠ كم (٤٣ ميلا). وهو خطى يتوازى جانباه تقريبا ويزيد عمقه عن صخور الأساس المحيطة به عن ٢ كم (١,٢ ميلا). وهو بإيجاز واد أخدودى قديم يعرف بأخدود ريلفوت، تكون منذ حوالى ٥٥٠ سنة مضت. وتشمل المعالم المشابهة له حاليا أخدود ريو جراند فى نيومكسيكو (الشكل ١٣-٥) ووادى أخدود (فالق) شرقى أفريقيا (الشكلان ٢٤-٢ ، و ٢٧-٢). وامتلاأ أخدود ريلفوت القديم بالصخور الرسوبية ثم غطى الإقليم بأسره طبقة ممتدة من الرواسب الحديثة (الشكل ١٩-٥). واليوم يقوم حوض المحيط الأطلنطى الذى يتوسع بدفع أمريكا الشمالية إلى الغرب والجنوب الغربى؛ ومن المرجح أن تنشط بعض الصدوع القديمة فى أخدود ريلفوت فتحدث زلازل فى الإقليم. فهل هذه الزلازل فريدة فى منطقة نيومدريد؟ أم أن الولايات المتحدة بها أخاديد أخرى ضعيفة فى العمق يمكن أن تثير الزلازل الكبرى بشدة؟

الأخاديد القديمة فى وسط الولايات المتحدة

كان قَدْرًا محتوما على جميع القارات أن تتمزق من أسفلها. فقد تشققت القارات ثم انجرفت وأعيد تجمعها فى نماذج مختلفة. وتتوقف أحيانا عملية الشق قبل انفصال القارة. ويوضح الشكل (٥-٢٠) السنة الأخاديد التى تكونت منذ ٢٢٠ حتى ١٨٠ مليون سنة عندما تفصدت القارة الأم بنجاليا. ثم تعاقبت السنة الأخاديد وتجمعت مكونة حوض المحيط الأطلنطى الحالى. وانهارت السنة الأخاديد الأخرى مخلفة وراءها مناطق ضعيفة خلال القارات. فأخدود ريلفوت الذى يشغله اليوم نهر ميسيسيبي أخدود ضعيف معروف؛ يحيط بمنطقة المراكز السطحية للزلازل الكبيرة. والأخاديد الضعيفة الأخرى، منذ التواريخ القديمة للألواح التكتونية، توجد كذلك تحت سطح أمريكا الشمالية (الشكل ٥-٢١).

وتظل الأخاديد الضعيفة قائمة كمناطق ضعيفة ربما تعاود نشاطها بإجهادات لاحقة للألواح التكتونية فتولد الزلازل من جديد. ونظرا إلى أن الأخاديد الضعيفة مدفونة فى العمق فمن الصعب دراستها. ولكنها تثير أسئلة جوهرية. فما هو معدل تكرار زلازلها الكبيرة؟ فالفاصل الزمنية لتكرار الزلازل الكبرى يبدو أنها تتراوح بين بضع مئات حتى أكثر من ألف سنة. فما هو مقدار الزلزال الذى يمكن أن يحدث فى كل أخدود؟ فسلسلة زلازل نيومدريد تطرح علامة إشارية واضحة. فحوالى ٨٣٪ من الزلازل الكبرى التى حدثت فى وسط الولايات المتحدة تقع فى مواقع الأخاديد القديمة أو بالقرب منها.

وترتبط الأخاديد القديمة المدفونة فى الشكل (٥-٢١) بعلاقة متبادلة من نشاط مناطق الصدع فى السطح. وهناك عدة أمثلة: (١) يتوافق لسان سانت لويس مع منطقة صدع سانتا جينيفيف. (٢) ويغضى لسان جنوبى إنديانا بمنطقة صدع وادى واباش الذى يبدو متصلا بمنطقة نيومدريد. وتوحى زلازل ما قبل التاريخ التى سجلتها سجلات الرواسب بزللازل تعادل موجاتها الداخلية ٦,٣ m_b وأكثر من ٧. (٣) يطلق على أخدود رنى كريك اسم منطقة صدع رف كريك، ويبدو مستمرا تجاه الشرق باسم منطقة صدع رف كريك. وكشفت الخنادق التى حفرت عبر صدع رف كريك عن

السجلات الرسوبية لحركات الصدع المنعكس ذات الفروع ١,١ مترا (أكثر من ٣,٥ أقدام). (٤) يتوافق أخدود جنوبي أوكلاهوما مع نظام الصدع الأمامي لجبال ويشيتا. ورغم أن هذه المنطقة لا تولّد زلازل حالياً، فإن سطح الأرض يؤكد احتمالات حدوث زلازل كبرى. وصدع ميرز يعتبر خطيراً في نظر سكان كاليفورنيا، إذ يتجه شمالاً ٦٣ درجة بغرب عبر جنوب غربى أوكلاهوما. ويبلغ ارتفاع حافة الصدع ٥ أمتار (١٦ قدماً) وطوله ٢٧ كم (١٧ ميلاً)، وله تفرّعة يسارية جانبية تزيد عن التفرّعة الرأسية من ٣ حتى ٥ أضعاف. وحدثت على الأقل تمزقات كبيرة فى الصدع فى الزمن الجيولوجى الحديث.

الزلازل داخل الألواح فى شرقى الولايات المتحدة

زلازل نيو إنجلاند

تحظى نيو إنجلاند بسجل طويل من الزلازل الكبيرة. ففي يوم ١١ يونيو ١٦٣٨ بعد مرور ١٨ عاماً على رسو المسافرين إلى بلايموث فى ماساشوسيتس ضربهم زلزال كبير. قعقت فيه الأطباق واهتزت المباني وأثارت الرعب فى قلوب الأوروبيين الذين لم يألّفوا الزلازل. ونظراً لقلّة عدد المستوطنين كان من الصعب تحديد الموقع الدقيق لحركة الصدع التى ولدت هذا الزلزال. وعلى أية حال، فإن المركز السطحي المقترح يقع قبالة رأس آن؛ وتقدر شدته بمقياس ميركالى حتى ٩.

وفى يوم ٩ نوفمبر ١٧٢٧ ضرب زلزال الساحل الشرقى من مين حتى ديلاوير. وكان المركز السطحي قريباً من نيوبيرى فى ماساشوسيتس (الشكل ٥-٢٢)، فأدت الهزة إلى سقوط المداخل والحوائط الحجرية وانهار حوائط الطوابق السفلى. وهبطت بعض المرتفعات حتى صارت منخفضات رطبة، وارتفعت بعض المنخفضات الرطبة فصارت جافة تنبت الحشائش. وشاعت حالات الرمال الناعمة السواخة أثناء الزلزال.

وقبل فجر يوم ١٨ نوفمبر ١٧٥٥ القارس البرودة بقليل اهتز الساحل الشرقى بأكمله من نوفاسكوتيا حتى جنوبى كارولاينا إثر زلزال بدأ قبالة الشاطئ عند رأس آن

فى ماساشوسيتس. وفى بوستون سقطت كثير من المداخن فجعل حطامها بعض الشوارع غير صالحة للمرور. وتقدر قوة الزلزال بحوالى ٦,٣، ولكن الهزة كانت من العنف بحيث وصف بعض شهود العيان من المواطنين الأرض بأنها تتدحرج مثل الأمواج فوق سطح البحر. حدث الزلزال بعد ١٧ يوما فقط من الزلازل الأسطورية فى لشبونة فى البرتغال فألهب حماس دعاة الهلاك والظلام من الوعاظ الذين اعتبروا الزلزال عقابا صارما نظير خطايا أهالى نيوانجلاند.

ويُعزى كثير من هذه الزلازل إلى الصدوع التى تحد وديان الأخدود السابقة (الشكل ٥-٢٠). وربما كانت الصدوع القديمة نشطت فتسببت فى الانهيارات من وطأة الإجهادات الحالية. فهل يتوافر للصدوع التى تحد الأخدود احتمالات لنشاط زلزالى فى المستقبل؟ فالسجل التاريخى ليس طويلا بالقدر الذى يسمح بالإجابة الشافية عن هذا السؤال. ولكن، إذا كانت الإجابة بالإيجاب فإن طول المقاطعة الساحلية المطلّة على المحيط الأطلنطى يمكن أن تتلقى هزات زلزالية كبيرة فى بعض الأحيان.

وعندما يقع الزلزال القادم بقوة ٦ أو أكثر فى شرقى الولايات المتحدة، فإن الدمار الناجم عنه يحتمل أن يكون أكثر نسبيا من نظيره الذى يقع فى الجزء الغربى من البلاد. وفى الشرق تنتقل حركة الزلزال فى الأرض بفاعلية أكثر فى الصخور القديمة الأكثر صلادة، ولهذا تقع الخسائر على أوسع نطاق. ويجب كذلك وضع الآتى فى الاعتبار: (١) الكثافة السكانية فى الشرق، (٢) العدد الهائل من المباني القديمة غير المصممة لتحمل الهزات الزلزالية، (٣) تركيز المنشآت الصناعية ومصادر توليد القوى بما فيها المفاعلات النووية.

زلزال وادى نهر سانت لورانس

شق نهر سانت لورانس هو الآخر مجراه الحالى بفعل لوح تكتونى قديم. وفى أواخر عصر ما قبل الكامبرى وياكورة عصر الباليوزى، أى منذ حوالى ٦٠٠-٥٠٠ مليون سنة امتد وادى الأخدود الكبير فى الإقليم (الشكل ٥-٢٢). وهذا الأخدود المدفون حاليا

يتوافق مع معظم الزلازل الكبيرة فى جنوب شرقى كندا. وعادة ما تبلغ قوة الزلازل فى وادى الأخدود ٧، إلا أن القارة القريبة التى ليس فيها أخاديد تبلغ قوة أكبر زلزال فيها ٥ فقط. وأكثر المناطق نشاطا على طول وادى نهر سانت لورانس يبلغ طولها ٨٠ كم (٥٠ ميلا) وعرضها ٣٥ كم (٢٢ ميلا) بالقرب من شارليفوا فى الشمال الشرقى من مدينة كويبيك. وفيها حدثت زلازل قوتها تتراوح من ٦ حتى ٧ فى السنوات ١٥٣٤ و ١٦٦٣ و ١٧٩١ و ١٨٦٠ و ١٨٧٠ و ١٩٢٥. فلماذا يحدث هذا التركيز فى الزلازل الكبرى فى مثل هذه المنطقة الصغيرة نسبيا؟ كانت شارليفوا موقعا حدث فيه ارتطام أحد التيازك منذ حوالى ٣٥٠ مليون سنة؛ أسفر عن تشقق كثير فى المنطقة، شاملا الصدوع المقوسة. وهذه الشقوق ربما استعادت نشاطها اليوم تحت إجهادات تولدت من انفتاح حوض المحيط الأطلنطى.

نظرية الزلازل الكبرى فى نطاق الشقوق

أدت صعوبة تفسير أسباب الزلازل فى شرقى أمريكا الشمالية إلى ظهور نظرية بنيت على الصدوع التحويلية التى تفرع منها مركز انتشار وسط المحيط الأطلنطى. واستمرت الصدوع التحويلية تمتد نحو الشمال الغربى على شكل نطاقات شقوق تواصلت مع بعض نطاقات الزلازل على اليابسة (الشكل ٥-٢٣). فإذا استمرت نطاقات الشقوق فى الامتداد تحت قارة أمريكا الشمالية فقد تكون علامات ضعف خطية. وربما يحدث الانتشار الحالى نحو الغرب للوح شمالى الأطلنطى حركات تنجم عنها الزلازل فى نطاق الشقوق تحت القسم الشرقى من أمريكا الشمالية.

ويتواصل نطاق الشق فى نيوفاوندلاند فى العديد من الزلازل بما فيها زلزال ١٨ نوفمبر ١٩٢٩ فى جراندي بانكسى. أحدث هذا الزلزال قبالة الشاطئ انزلاقا أرضيا عملاقا تحت الماء نتجت عنه موجات سنامية اجتاحت وأغرقت ٢٧ شخصا من سكان الساحل الجنوبى فى نيوفاوندلاند.

تكونت أعراف نيوانجلاند البحرية من سلسلة من البراكين الخامدة المغمورة تحت الماء والممتدة تحت نيوانجلاند وتواصلت مع المراكز السطحية فى رأس آن وحزام الزلازل الممتد إلى الشمال الغربى فى بوستون وفى أوتاوا فى كندا (الشكل ٥-١).

لاحظ أن نطاق الشق في بليك يمتد خلال شارلستون والحزام الزلزالي في جنوبي كارولاينا (الشكل ٥-٢٣).

شارلستون في جنوبي كارولاينا في ١٨٨٦

تقع شارلستون على امتداد خليج جميل، وهي مدينة جميلة تتميز بمبانيها الرائعة وشوارعها الفسيحة وحدائقها الجذابة. وساعد وجود الميناء على جعل المدينة مركزا تجاريا ثريا. ولكن شارلستون لها جانب آخر. ففي منتصف القرن التاسع عشر كانت موطننا للانفصاليين، انطلقت منها أول طلقة في الحرب الأهلية في مينائها بفورت سامتر في يوم ١٢ أبريل ١٨٦١. وبعد أربع سنوات من انتهاء الحرب كانت شارلستون.

مدينة الدمار والخراب وأنقاض البيوت المتهاكة والنساء الأرامل وأرصعة الموانئ العفنة والمستودعات المهجورة والمساحات الهائلة من الأراضي القاحلة التي يضرب فيها الصمت فتدعو إلى الرثاء.

ولكن ما إن حل منتصف العقد الثامن من القرن التاسع عشر حتى استعادت شارلستون موقعها كمركز للثروة والمباني الجميلة والإنجازات الحضارية. وحتى الخسائر التي تكبدتها من فعل الإعصار المطر الذي عصف بها في عام ١٨٨٥ لم يكن حائلا بون استمرار تنمية المدينة. ثم جاء يوم ٣١ أغسطس ١٨٨٦ وهو يوم صيفي شديد الحرارة والرطوبة. ففي الساعة ٩,٥٠ مساءً أفسد هدوء المساء الذي يفتقر إلى النسيم أكبر زلزال ضرب جبال أبالاش في الزمن التاريخي. وأزهقت ستون ثانية للزلزال أرواح ستين نفسا، وما تبقى من المواطنين كان عليهم أن يتعاونوا على بناء المدينة. وكان حوالي ٩٠٪ من المباني مدمرا أو تكبد خسائر فادحة (الشكل ٥-٢٤).

ويبدو أن الزلزال كانت قوة موجاته الداخلية ٦,٧ (m_b) والموجات السطحية ٧,٧ (M_s). ولم يحدث الزلزال تصدعا سطحيا؛ ولهذا، ربما حدثت حركة الصدع على عمق ٢٠ كم (١٢ ميلا). وتماثل القوة الكبيرة تمزقا طوله حوالي ٢٠ كم (١٩ ميلا)

واتساعا على سطح الصدع حوالى ١٩ كم (١٢ ميلا). وشعر الناس بالهزة على مساحة كبيرة جدا، وانتشرت الخسائر كذلك (الشكل ٥-٢٥). والمنطقة الكبيرة التى شعرت بالزلازل منطقة نمطية من شرقى الولايات المتحدة ويعزى اتساعها إلى طول فترة استمرار الموجات الزلزالية (مثل ثانية واحدة)، التى لا تتلاشى بسرعة مثل مثيلاتها فى غربى الولايات المتحدة. والصخور القارية العميقة قديمة وصلدة جيولوجيا، وتؤدى إلى جعل المنطقة ترن مثل الجرس وتنقل الموجات الزلزالية إلى مسافات بعيدة وعلى نطاق واسع.

فكيف يندر حدوث زلازل بهذا الحجم فى شارلستون؟ تدلنا الرواسب المكشوفة فى جدران الخنادق التى أفصحت عن التواريخ بالإشعاع الكربونى على أن ثلاثة زلازل أخرى على الأقل تماثل فى الحجم هذا الزلازل حدثت فى المنطقة فى ٣٠٠٠ حتى ٢٦٠٠ سنة الماضية. ولهذا فمن المحتمل حدوث زلازل كبيرة كل حوالى ١٠٠٠ سنة.

الزلازل وظاهرة البراكين فى هاواى

عندما يتأمل الإنسان المخاطر الطبيعية فى هاواى تتبادر إلى ذهنه ظاهرة البراكين. ولكن حركة الصحارة ربما تحدث الزلازل بما فيها الزلازل الكبيرة (الجدول ٥-٢). فعندما يسيل الصخر يتمدد حجمه وتتكسر الصخور الهشة القريبة وتخلى لها السبيل. والكسور المفاجئة وانزلاقات الصخور الهشة حركات صدعية تحدث الزلازل. وعندما تتحرك الصحارة فى الأعماق الضحلة تتولد عنها عادة مجموعات مستمرة تقريبا من الزلازل الصغيرة نسبيا تسمى بالهزات الصغيرة المتوافقة. ويوضح الشكل (٥-٢٦) أن الزلازل التى وقعت تحت بركان كيلويا فى معظمها زلازل قريبة من السطح.

كما تؤدى حركات الصحارة إلى تكوين تضاريس طبوغرافية كبيرة وزلازل أكبر تزيد قوتها على ٦ و ٧. ويرتفع سطح الأرض عادة عند حقن الصحارة تحت سطح الأرض. ولكن سطح الأرض عادة ينخفض كذلك عند انسحاب الصحارة. ويوضح الشكل (٥-٢٧) بعض المنخفضات فى وديان كيلويا؛ وتصبح حوائط الوديان صدوعا عادية.

وكيلويا مدعمة من شمالها الغربى ببركان مونا لوا العملاق وبكتلة الجزيرة الكبيرة فى هاواى. وعلى أية حال، فعلى جانبها الجنوبى الشرقى يصير الدعم أقل؛ إذ تهبط كيلويا فى المحيط الهادى. وتتضافر كل من آثار حركة الصهارة تحت سطح الأرض التضاغطية أثناء الحقن والتوسعية أثناء التراجع مع سحب الجاذبية لتؤدى إلى حركات كبيرة على الصدوع العادية.

وفى يوم ٢٩ نوفمبر ١٩٧٥، تحرك فجأة أحد الصدوع العادية المائل نحو البحر فى زلزال قوة موجاته السطحية $M_s 7.2$. وقع فى الساعة ٤, ٤٨ صباحا عندما انزلقت كتلة كبيرة بحركة مقدارها ٦ أمتار (٢٠ قدما) نحو البحر و ٣, ٥ أمتار (١١, ٥ قدما) إلى أسفل. وأحدثت حركة هذه الكتلة موجات سنامية فى البحر ارتفاعها ١٢ مترا (٤٠ قدما). وانتفض المصيفون النائمون على الشاطئ مذعورين بفعل الهزة الأرضية؛ بينما غرق الذين لم يلجئوا بسرعة إلى مأوى مرتفع يعصمهم من الموجات السنامية، وعددهم اثنان. ولهذه الحركة الصدمية أثر على الصهارة تحت السطح يماثل رج زجاجة شراب غازى مملوءة بالصدود - فالغازات المتسربة من الصهارة تنطلق بثورة ١٨ ساعة باعثة نوافير من الصهارة ترتفع حتى ٥٠ مترا (١٦٥ قدما).

موجز

تحدث الزلازل فى أمريكا الشمالية. ويقع معظمها فى الغرب على طول حواف الألواح النشيطة، ولكن الأقاليم الوسطى والشرقية كذلك تقع بها الزلازل - لا بمثل كثرتها بل بمثل حجمها.

ففى شمال غربى المحيط الهادى تنتقل الإجهادات إلى أعلى من الألواح المنضوية، مكونة صدوع مضرب منزلق تمزق السطح كما هو الحال فى سييتل.

ومقاطع الحوض وسلسلة الجبال الواقعة بين شرقى كاليفورنيا ووسط يوتاه مناطق نشيطة فى الامتداد. فمثلا، تضاعف الاتساع شرقا وغربا فى نيفادا خلال ٣٠ مليون سنة الأخيرة. وتحتوى الصدوع العادية على معظم الامتداد، مطلقة زلازل قوتها حتى ٨.

وفى وسط الولايات المتحدة تبقى وديان الأخاديد القديمة بعد مراكز الانتشار المنهارة. والأخاديد القديمة اليوم مناطق ضعف يمكن أن تستعيد صدوعها نشاطاتها نظرا للآثار البعيدة المدى لتصادم ألواح انتشار المحيط الأطلنطى ولوح المحيط الهادى. فأخدود ريلفوت الذى يشغله الآن نهر ميسيبي وقعت به زلازل فى عامى ١٨١١ و ١٨١٢ يبلغ عزم قوتها ٨,٢ و ٨,٨ و ٧,١ و ٨,١ و ٨,٣ M_w وهناك وديان أخرى مرتبطة بالزلازل فى أمريكا الشمالية.

وتتكرر الزلازل ذات القوة حتى ٧ فى شارليفتوا فى كويبيك. وكان الإقليم قد تمزق بشدة بارتطام أحد الكويكبات القديمة، وتحركت ظاهريا الصخور المتشققة تحت إجهادات داخل الألواح المتحركة.

وتبدو الاتجاهات الخطية للزلازل على طول شرقى أمريكا الشمالية متواصلة مع الصدوع التحويلية فى سلسلة أعراف وسط المحيط الأطلنطى. وتعمل الصدوع التحويلية بعيدا عن مراكز الانتشار كمناطق تشقق. وربما كانت إعادة تفعيل هذه المناطق الضعيفة مسئولة عن الزلازل الكبرى التى تحدث فى شارلستون وجنوبى كارولاينا ونيو إنجلاند.

وحركة الصحارة تحت السطح فى هاواى تولد زلازل بالتمزيق الجبرى للصخور الهشة. وترتفع الأرض عندما تحقق الصحارة وتهبط عندما تزول الصحارة؛ وهذه الحركات الأرضية ربما كانت مفاجئة تتولد عنها الزلازل.

مصطلحات للمذاكرة

avalanche	جلمود
embayment	خليج - انحناء
failed rift	أخدود ضعيف
fracture zone	منطقة كسر
harmonic tremor	هزة صغيرة متوافقة
quicksand	رمل ناعم سواخ

scarp	منحدر شديد
seamount	أحد الأعراف البحرية
seiche	موجة متأرجحة فى بحيرة
turbidite	عكارة

أسئلة للمراجعة

- ١ - كيف تؤثر زيادة عمق البؤرة فى الهزات السطحية؟
- ٢ - ما هى أنواع الأدلة الدالة على الحركات الكبرى على الصدوع السطحية فى واشنطن؟
- ٣ - ما هى العمليات التكتونية المؤثرة على مقاطعات حوض وسلسلة الجبال من شرقى كاليفورنيا حتى يوتاه أثناء ٣٠ مليون سنة الأخيرة؟
- ٤ - ما هو نمط حركة الصدع التى توصف مقاطعات حوض وسلسلة الجبال؟ وما هى أقوى الزلازل التى حدثت فيها خلال هذا القرن؟
- ٥ - اشرح ما هى الموجة المتأرجحة فى البحيرة. وكيف تنشأ الموجة الصغيرة؟
- ٦ - فى الوسط المستقر للولايات المتحدة تحدث مجموعات من الزلازل فى مناطق معينة. وما هى السيطرة المحتملة على مواقع هذه الزلازل؟
- ٧ - متى وكيف تكون أخدود ريلفوت؟ اشرح تاريخ الزلازل فيها. وماذا يخفيه المستقبل؟
- ٨ - ارسم خريطة وشرح كيف تحدث مراكز الانتشار والصدوع التحويلية فى سلسلة أعراف وسط المحيط الأطلنطى زلازل فى مناطق شارلستون وجنوبى كارولاينا وبوستون.
- ٩ - اشرح بعض عمليات براكين هاواى التى تسبب الزلازل.

أسئلة لمزيد من التأمل

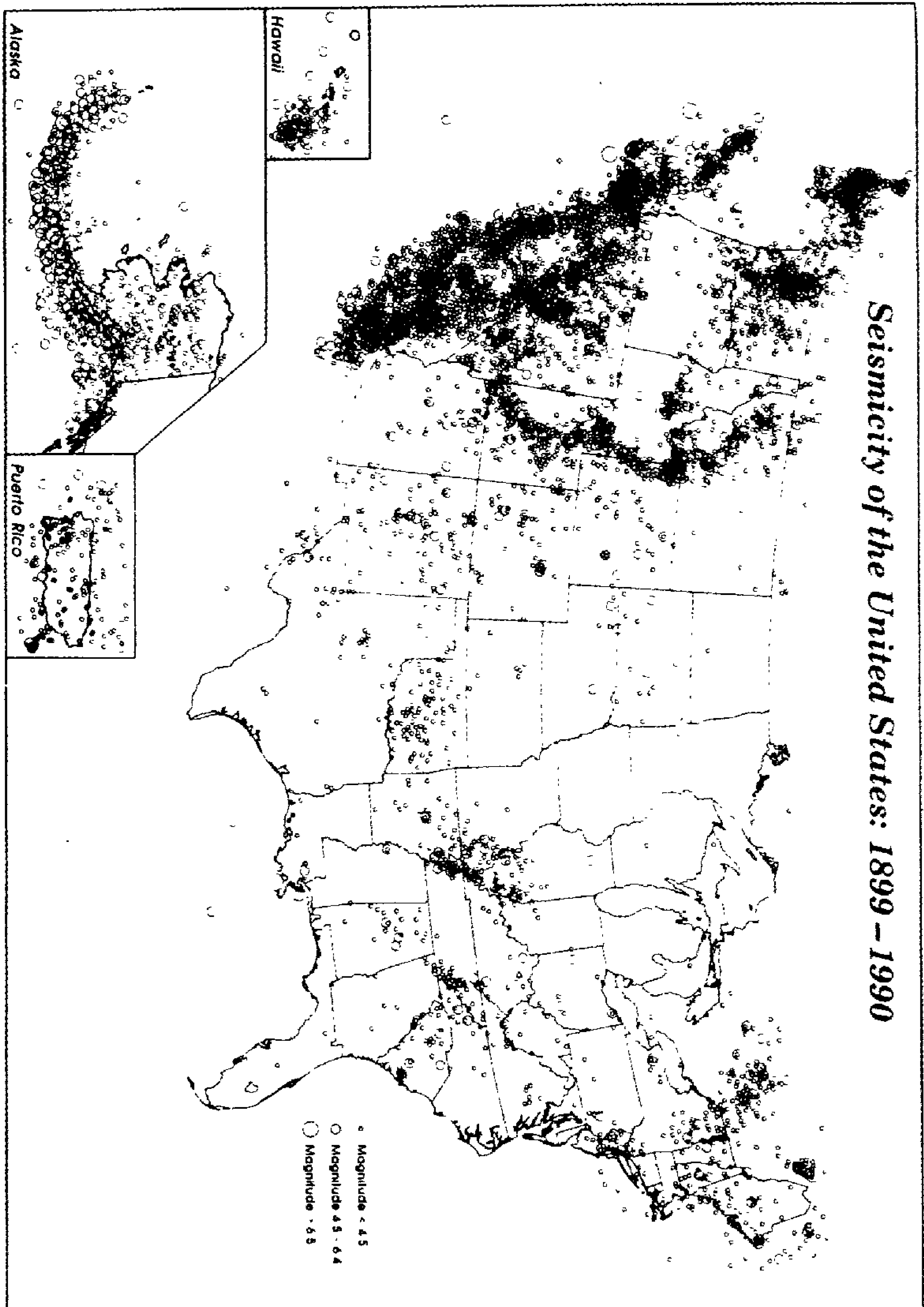
١ - يرى بعض الناس أن الزلازل تحدث عادة في أوقات معينة من اليوم. فهل يعنى ذلك شيئاً؟ وهل هناك نظام يختص بتوقعات الزلازل نوقش في الفصول ٢ و٣ و٤ و٥؟

٢ - قيّم مخاطر الزلزال الذى حدث فى مدينة سولت ليك.

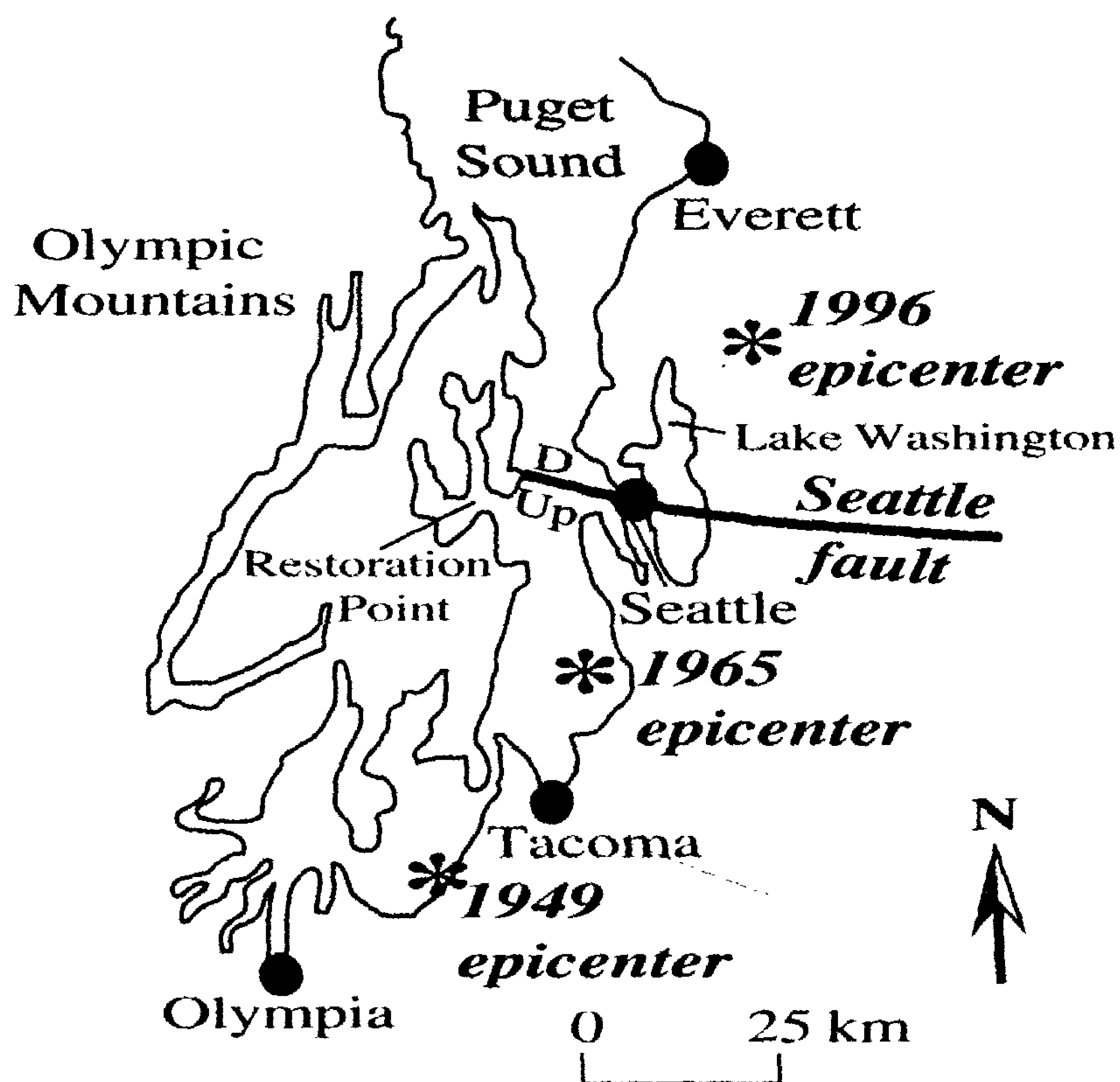
٣ - ما الذى يتحكم فى مسار أخدود ريوجراند فى نيومكسيكو؟ وهل هناك تهديد بالزلزال كذلك؟

٤ - قارن القدرة على تحمل الهزة الزلزالية فى مباني وسط المدينة وفى الكبارى فى الساحل الغربى مقابل الساحل الشرقى فى الولايات المتحدة.

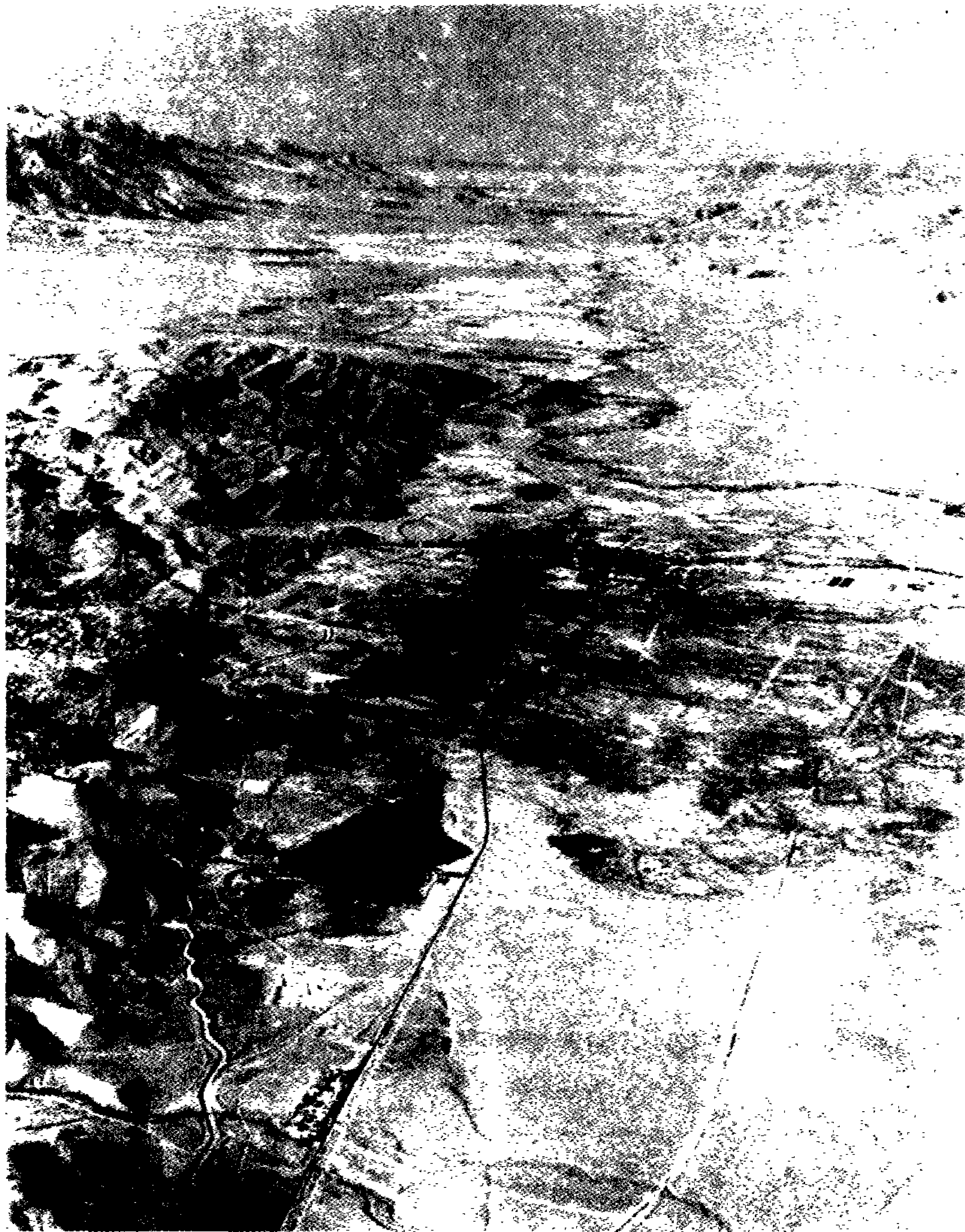
أشكال الفصل الخامس



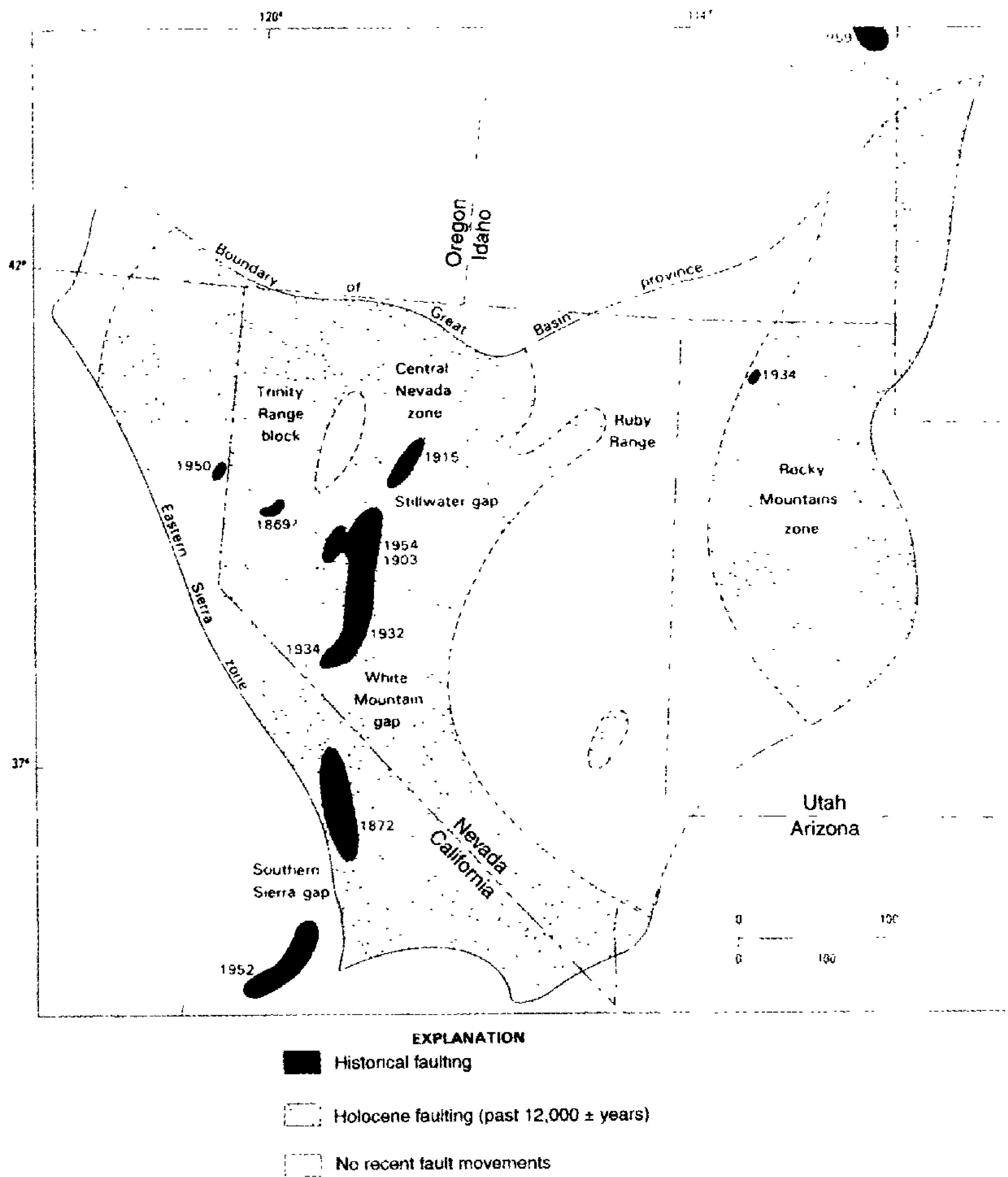
الشكل (١-٥) المراكز السطحية للزلازل في الولايات المتحدة وجنوبي كندا وشمالى المكسيك من عام ١٨٩٩ حتى عام ١٩٩٠.



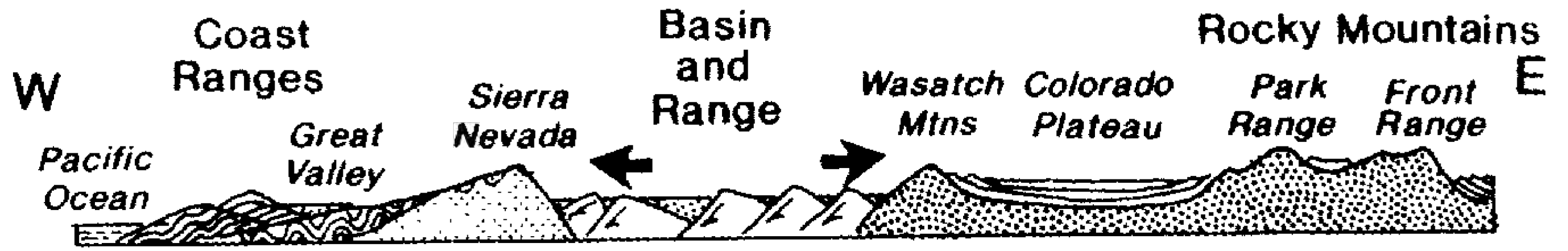
الشكل (٥-٢) خريطة منطقة بوجيت ساوند. يعنى الحرف **U** فوق والحرف **D** تحت صدع سييتل.



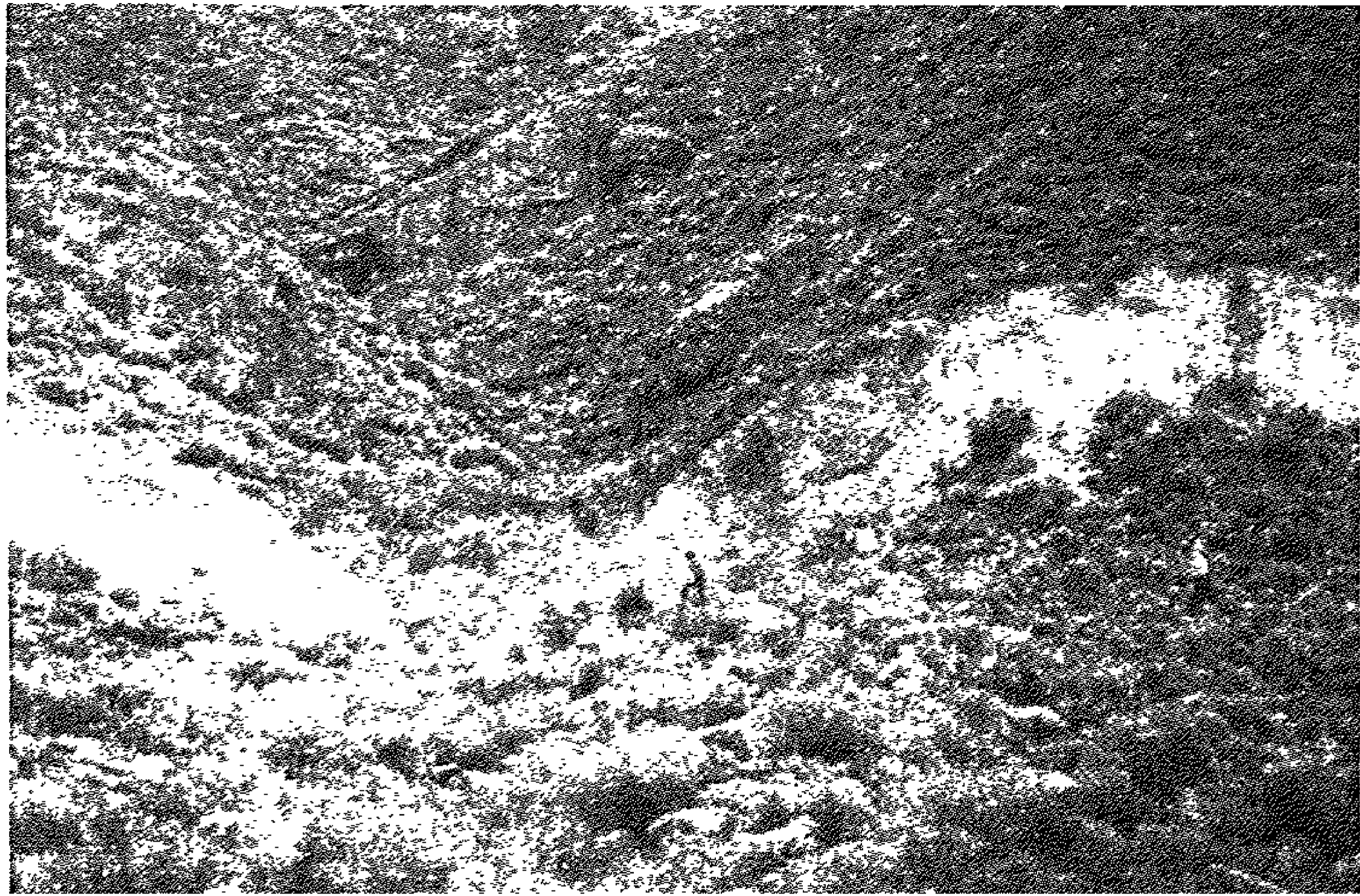
الشكل (٣-٥) منظر فى شمالى وادى أووينز. وتفريعات الصدع شبه متوازية وإلى اليسار من الطريق السريع رقم ٣٩٥؛ لاحظ أن مدينة لون باين انخفضت. وتقع تلال ألاباما فى يسار الوسط وسيرا نيفادا فى أعلا اليسار.



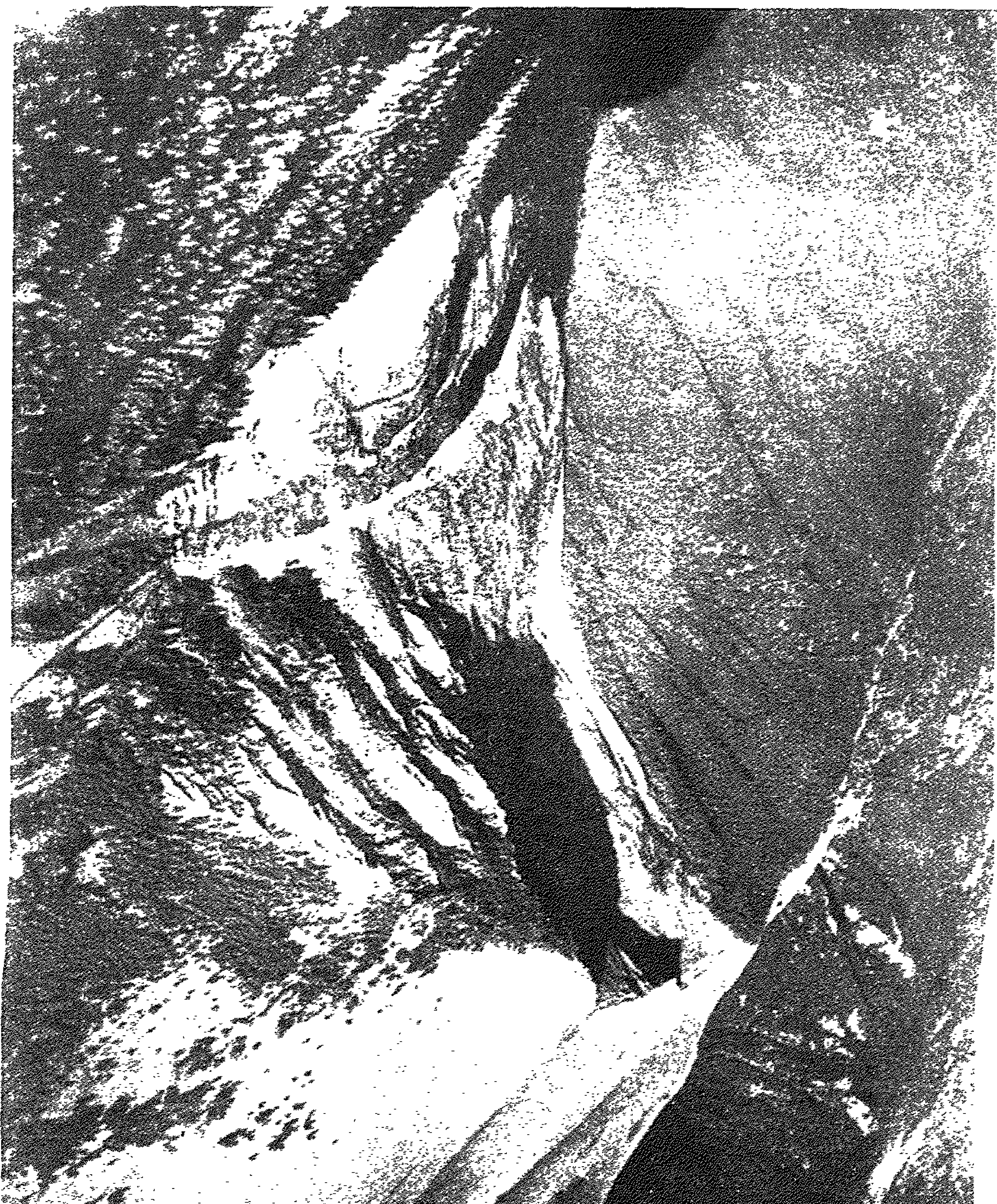
الشكل (٥-٤) خريطة عامة عن الصدوع التاريخية في غربى الحوض الكبير.



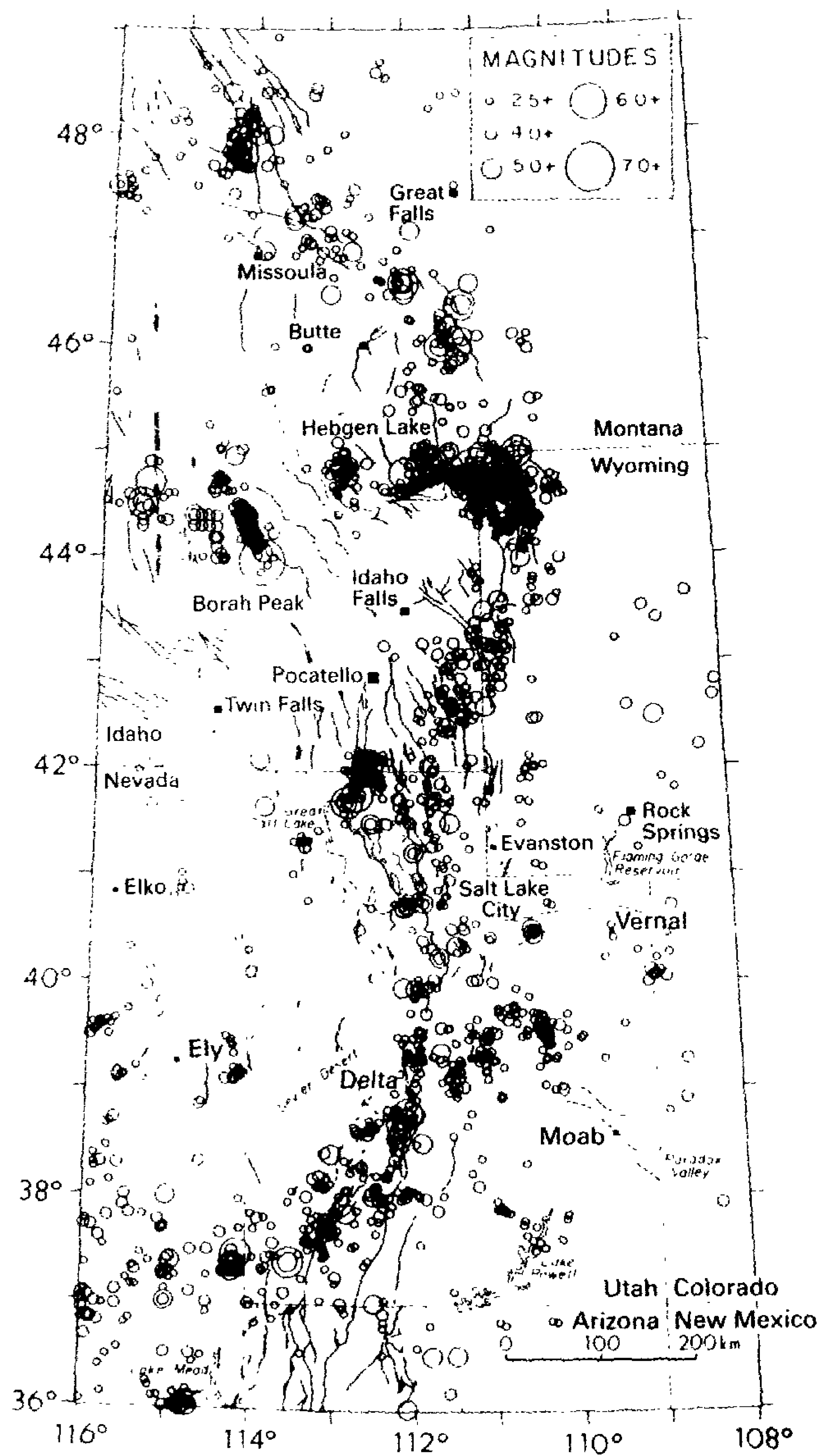
الشكل (٥-٥) مخطط لقطاع مقطعي متجها شرقا وغربا عبر غربي الولايات المتحدة. وتمتد مقاطعات الحوض وسلسلة الجبال إلى ضعف اتساعها الأصلي. وتسبب هذا الامتداد في إيجاد صدوع عادية تولّد الزلازل.



الشكل (٦-٥) جزء من منحدر الصدع تكون في زلزال عام ١٩١٥ في وادي بليزانت في نيفادا.



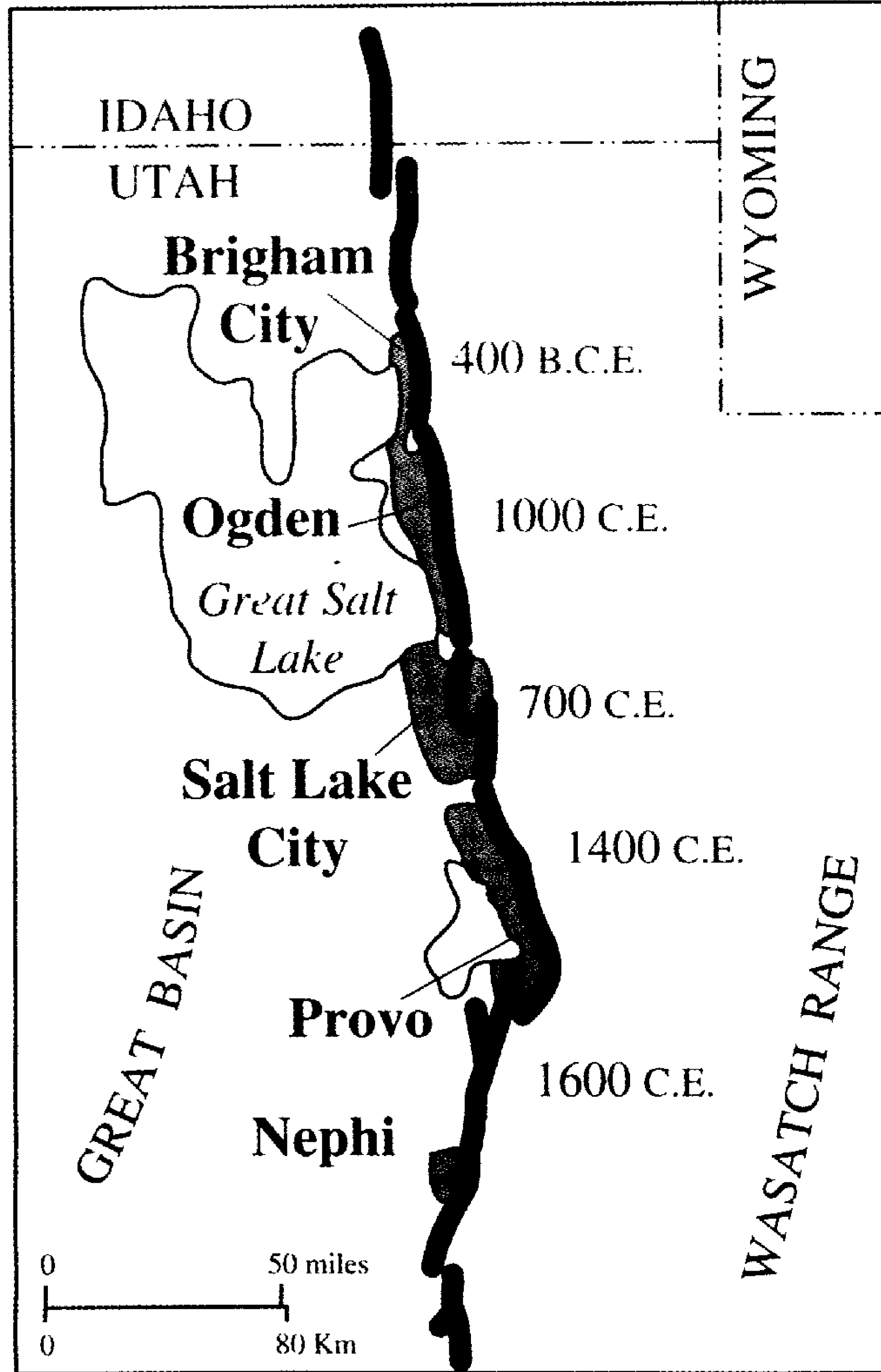
الشكل (٧-٥) الانزلاق الأرضي في وادي ماديسون الضيق والبحيرة الناجمة عنه بسبب زلزال ١٧ أغسطس ١٩٥٩.



الشكل (٨-٥) مراكز سطحية للزلازل في حزام الزلازل الواقع بين الجبال من عام ١٩٠٠ حتى عام ١٩٨٥.



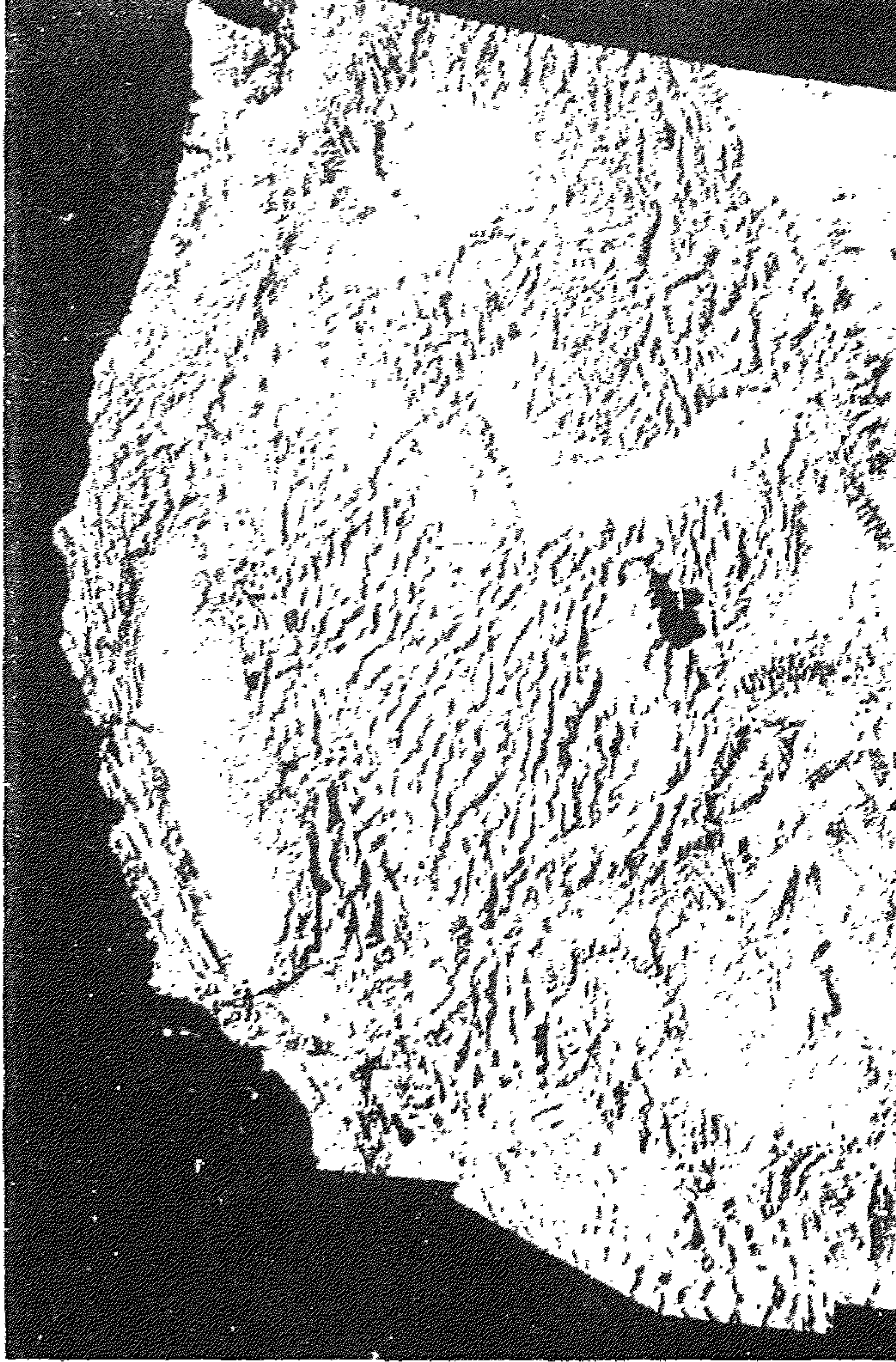
الشكل (٩-٥) كان زلزال قمة بوراه في يوم ٢٦ أكتوبر ١٩٨٣ قوته $M_s ٧.٣$ بتفريعة رأسية ارتفاعها ٢,٥ أمتار (٨,٢ أقدام). لاحظ أن هناك أيضا بعض التفريعات اليسارية الجانبية. وجبل بوراه (في خلفية الصورة) ارتفع قليلا بفعل هذا الزلزال.



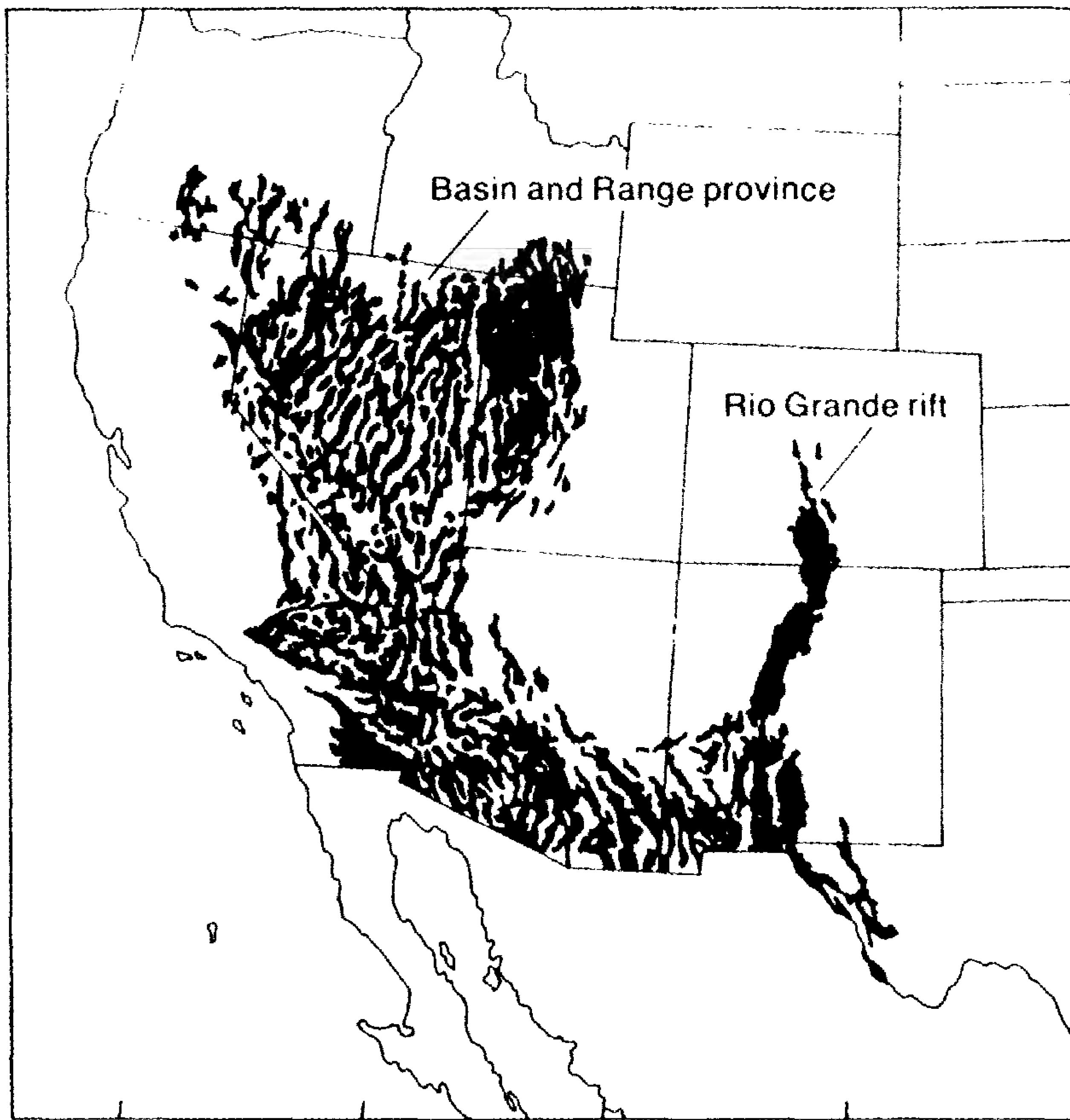
الشكل (١٠-٥) خريطة للصدوع الممتدة على طول جبهة واساتش في يوتا. وينقسم صدع واساتش إلى عدة أقسام وتواريخ معظم الزلازل الحديثة ذات القوة ٦,٥ فأكثر موضحة على الخريطة.



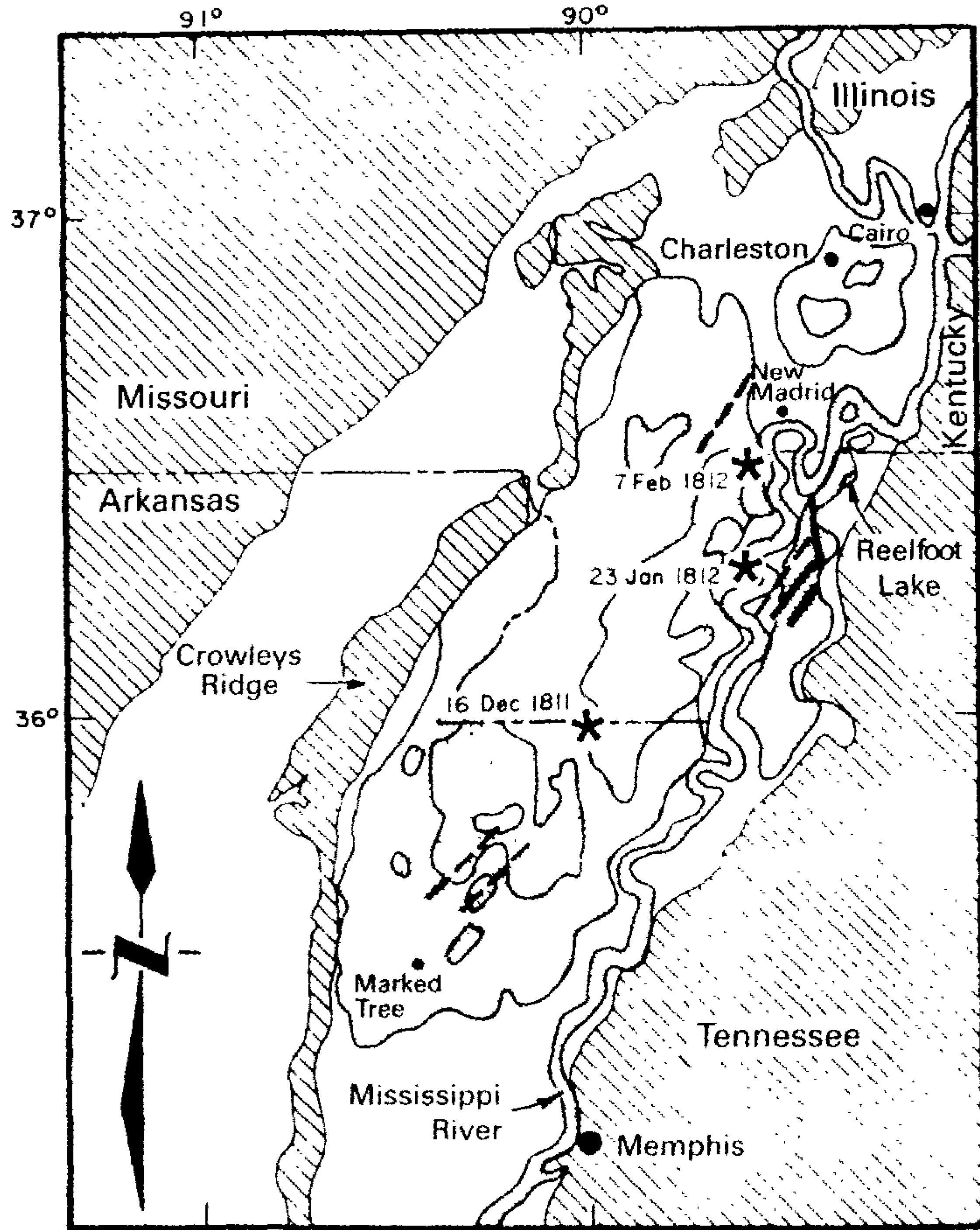
الشكل (١١-٥) صورة جوية تجاه الشرق فوق مدينة سولت ليك ويرى صدع واساتش مارا على طول سفوح الجبال.



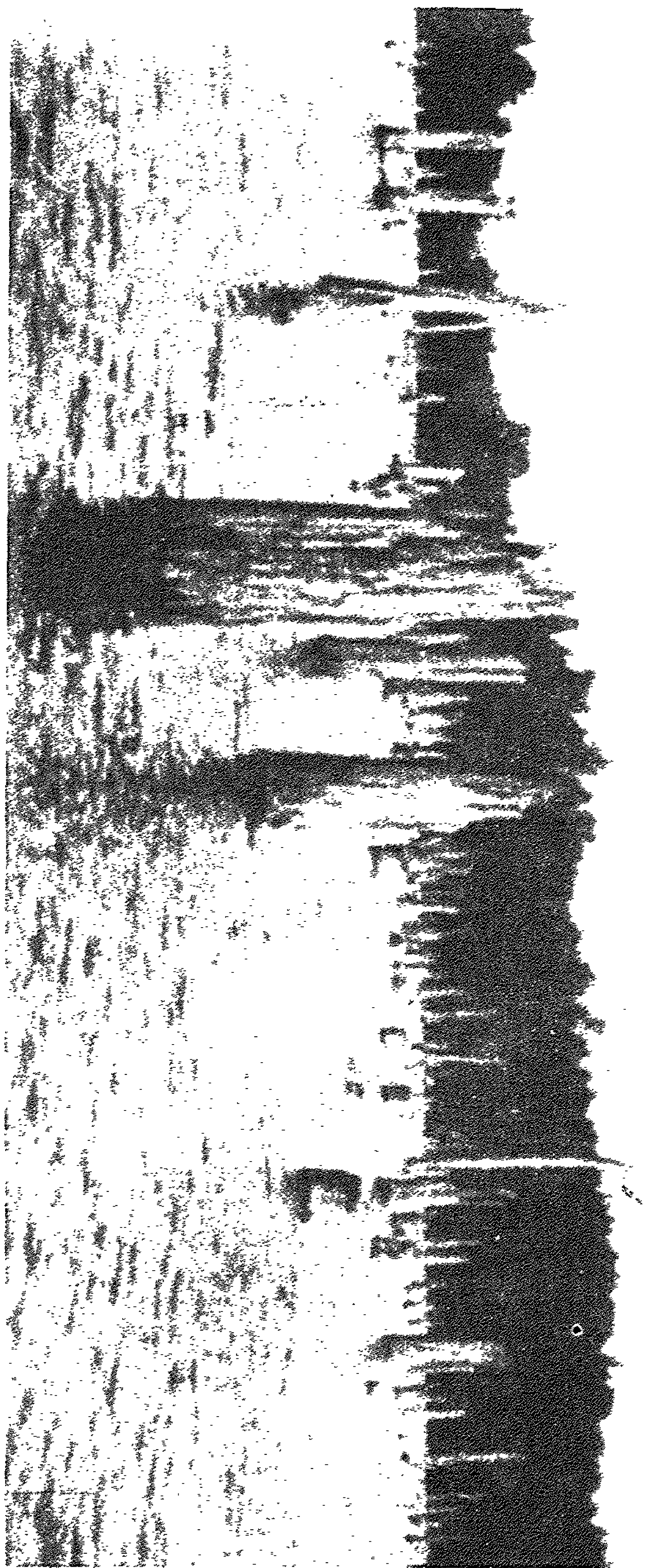
الشكل (٥-١٢) صورة ملتقطة من الحاسوب للتضاريس الطبوغرافية لغربي الولايات المتحدة. لاحظ تضاريس الجبال المتجهة شمالا وجنوبا في مقاطعات الحوض وسلسلة الجبال التي تفصلها وديان خطية طولية.



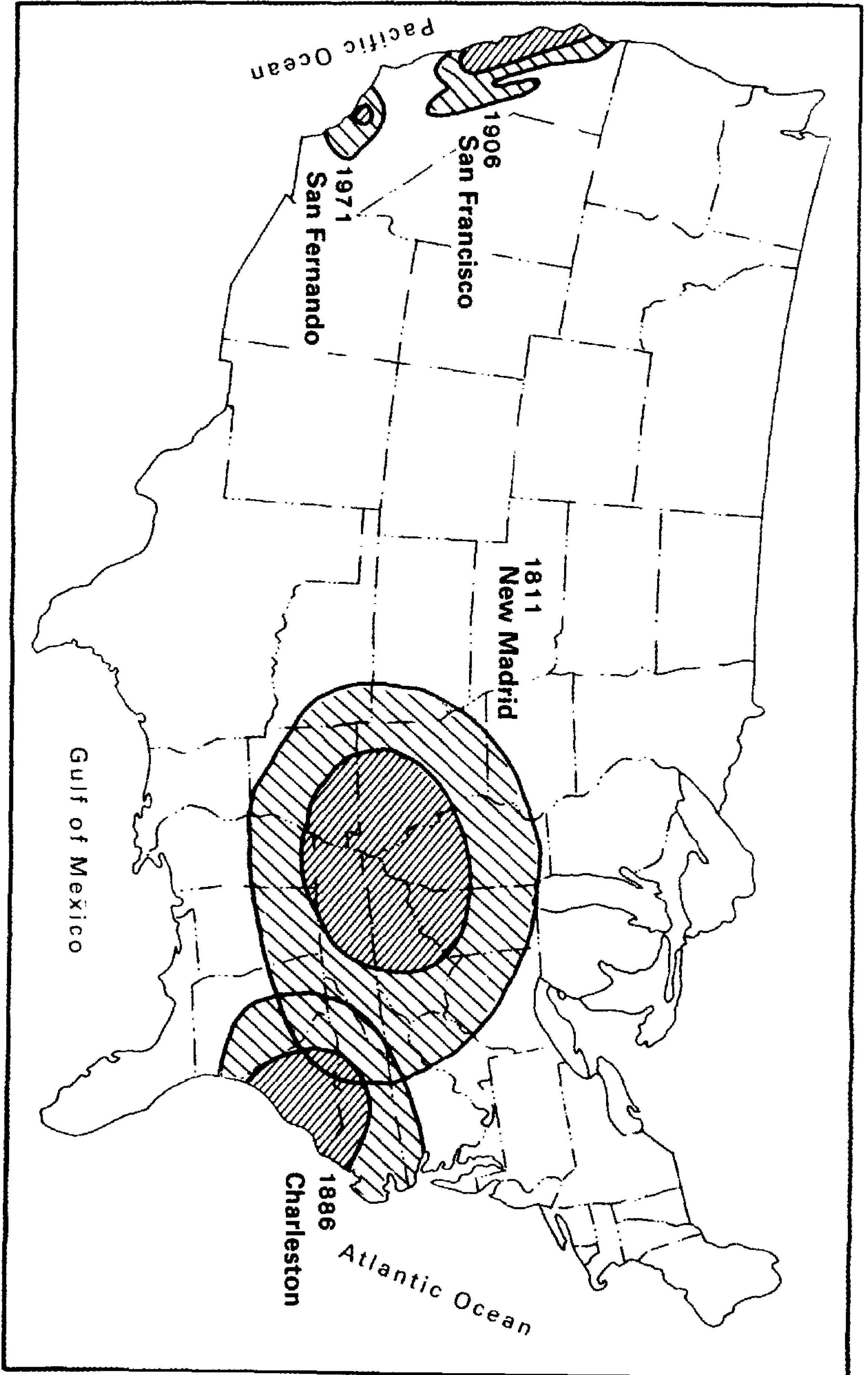
الشكل (١٣-٥) التضاريس الطبوغرافية لمقاطع الحوض وسلسلة الجبال الممتدة وأخدود ريو جراند. والأحواض المملوءة بالرواسب مظلمة باللون الأسود.



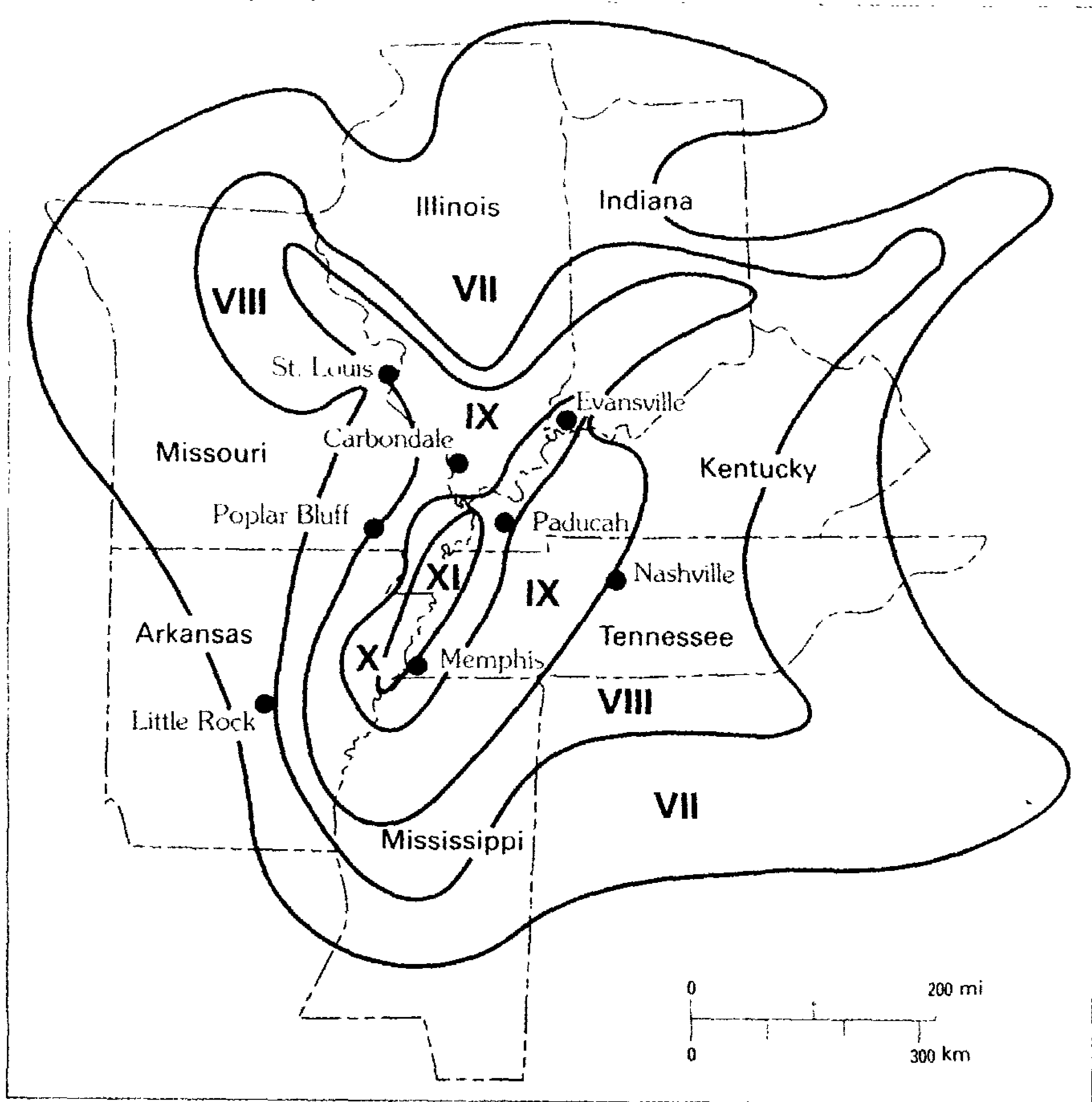
الشكل (١٤-٥) خريطة لإقليم نيو مدريد توضح المراكز السطحية للزلازل الكبرى والآثار الأرضية لأحداث ١٨١١-١٨١٢. وفي موقع ماركيد تري في أركانساس حدث زلزال قوته ٦,٤ في عام ١٨٤٢؛ وفي شارلستون في ميسوري وقع زلزال قوته ٦,٨ في ١٨٩٥.



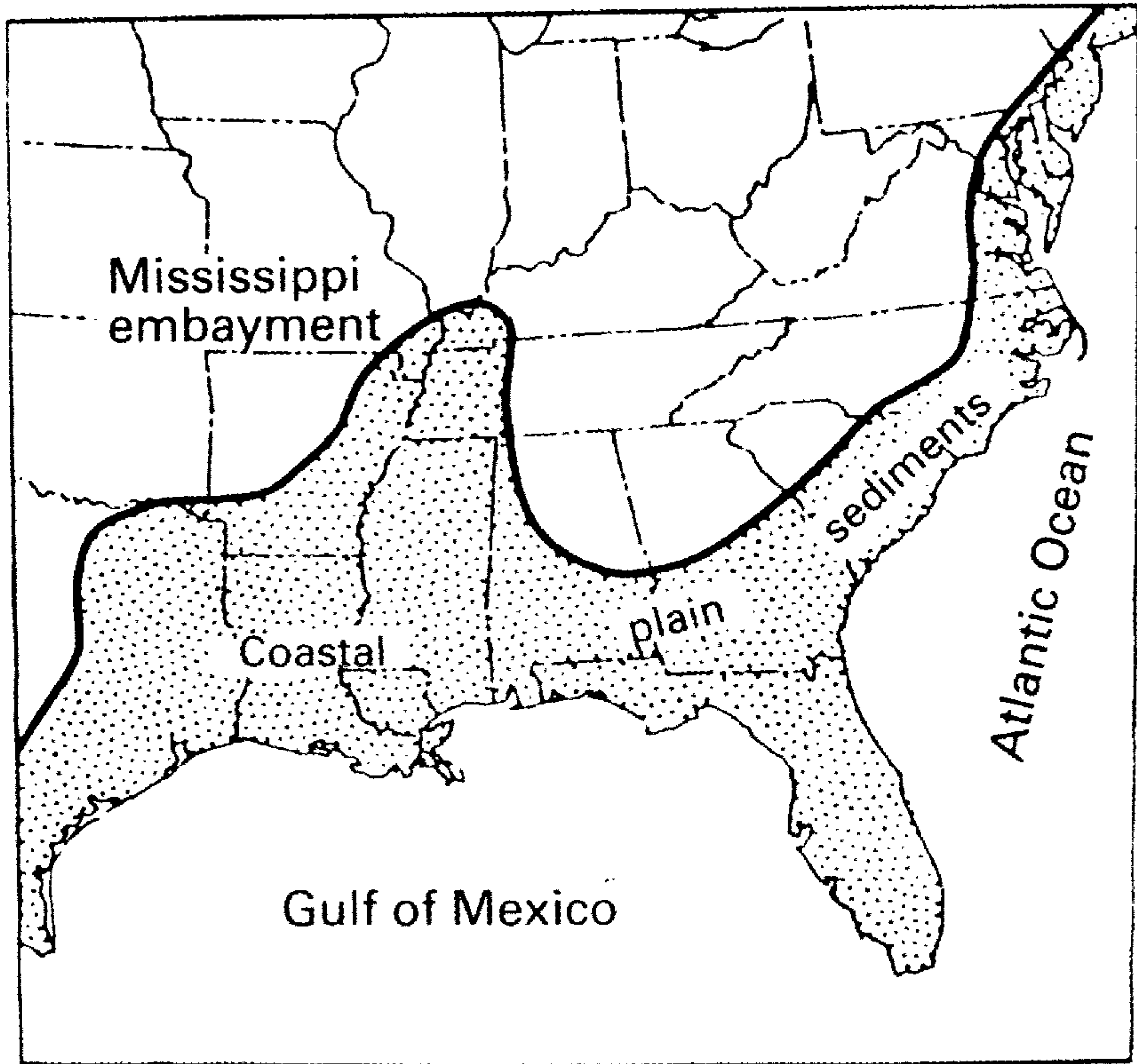
الشكل (١٥-٥) جنوع أشجار السرو الصنوبرى التى غرقت فى بحيرة ريلفوت بعد السد الذى أحدثه زلزال نيو مدريد.



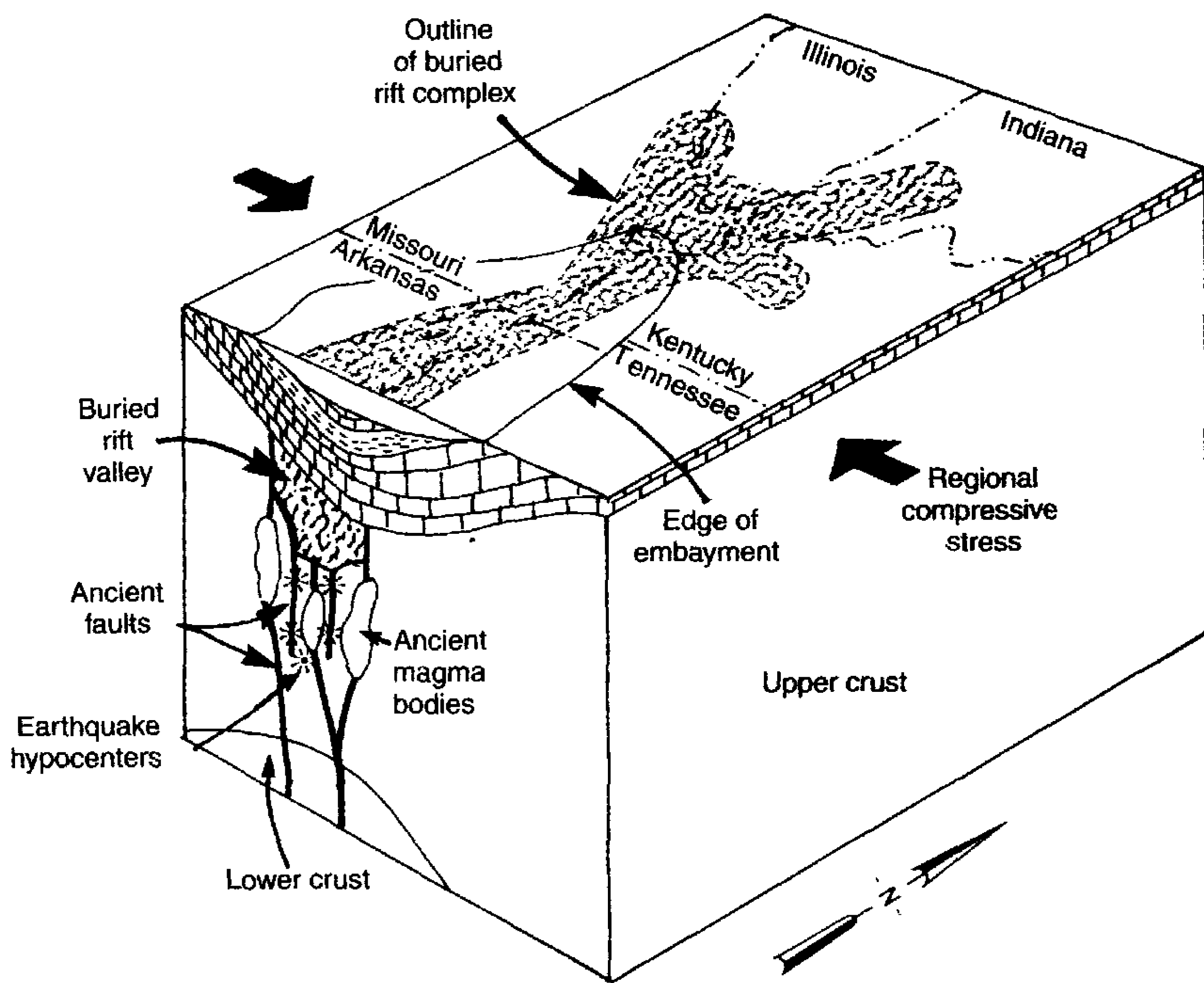
الشكل (١٦-٥) المناطق التي شعرت ببعض الزلازل الكبرى في الولايات المتحدة. والمناطق الداخلية القريبة من المراكز قدرت فيها شدة الزلازل بمقياس ميركالي أكثر من ٧؛ بينما المناطق الخارجية البعيدة عن المراكز قدرت فيها شدة الزلازل ٦ و٧ بمقياس ميركالي.



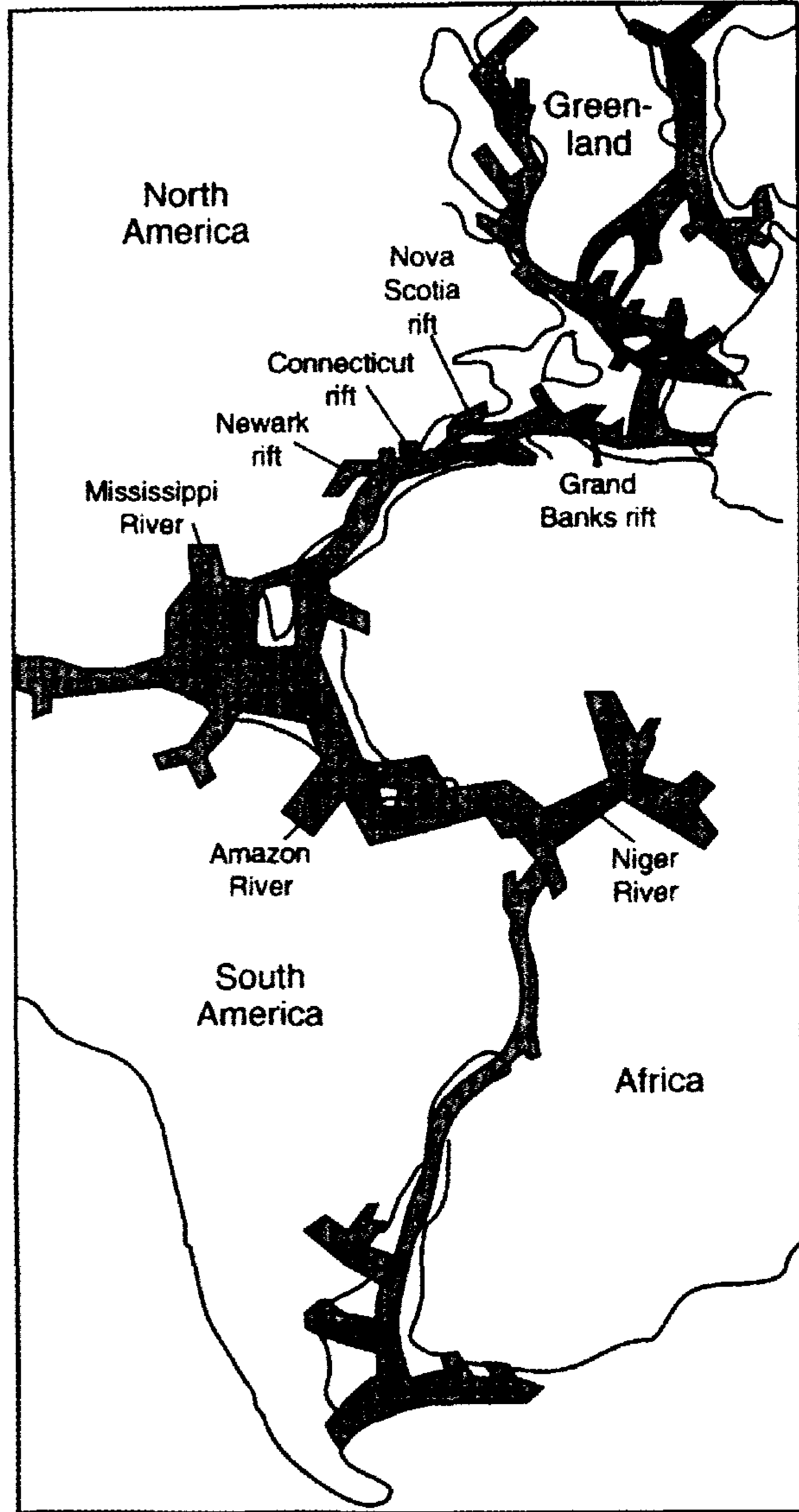
الشكل (١٧-٥) خريطة توضح تقديرات شدة الزلازل المتوقعة بمقياس ميركالي عند تكرار زلزال نيو مدريد في ١٨١١-١٨١٢. وتعني شدة الزلزال ٨ خسائر فادحة في المنشآت.



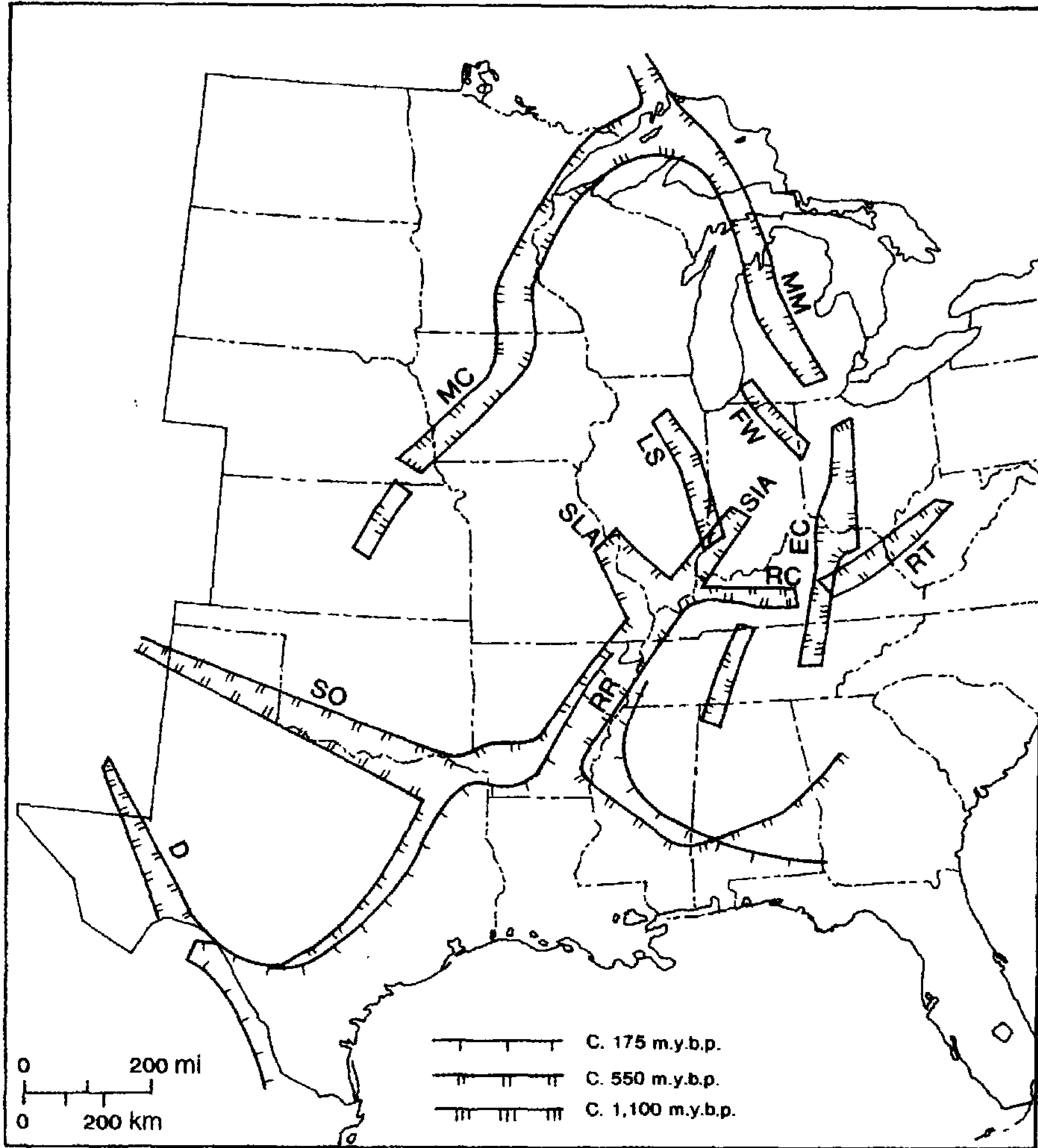
الشكل (١٨-٥) خريطة للرواسب التي ترسبت في السهل الساحلي بفعل تحات الأنهار في أمريكا الشمالية. لاحظ أن منحني نهر مسيسيبي يبرز شمالا في أمريكا الشمالية. فلماذا؟ هناك أخدود ضعيف في العمق، ويتجه أخدود ضعيف أصغر منه في جنوبي أوكلاهوما.



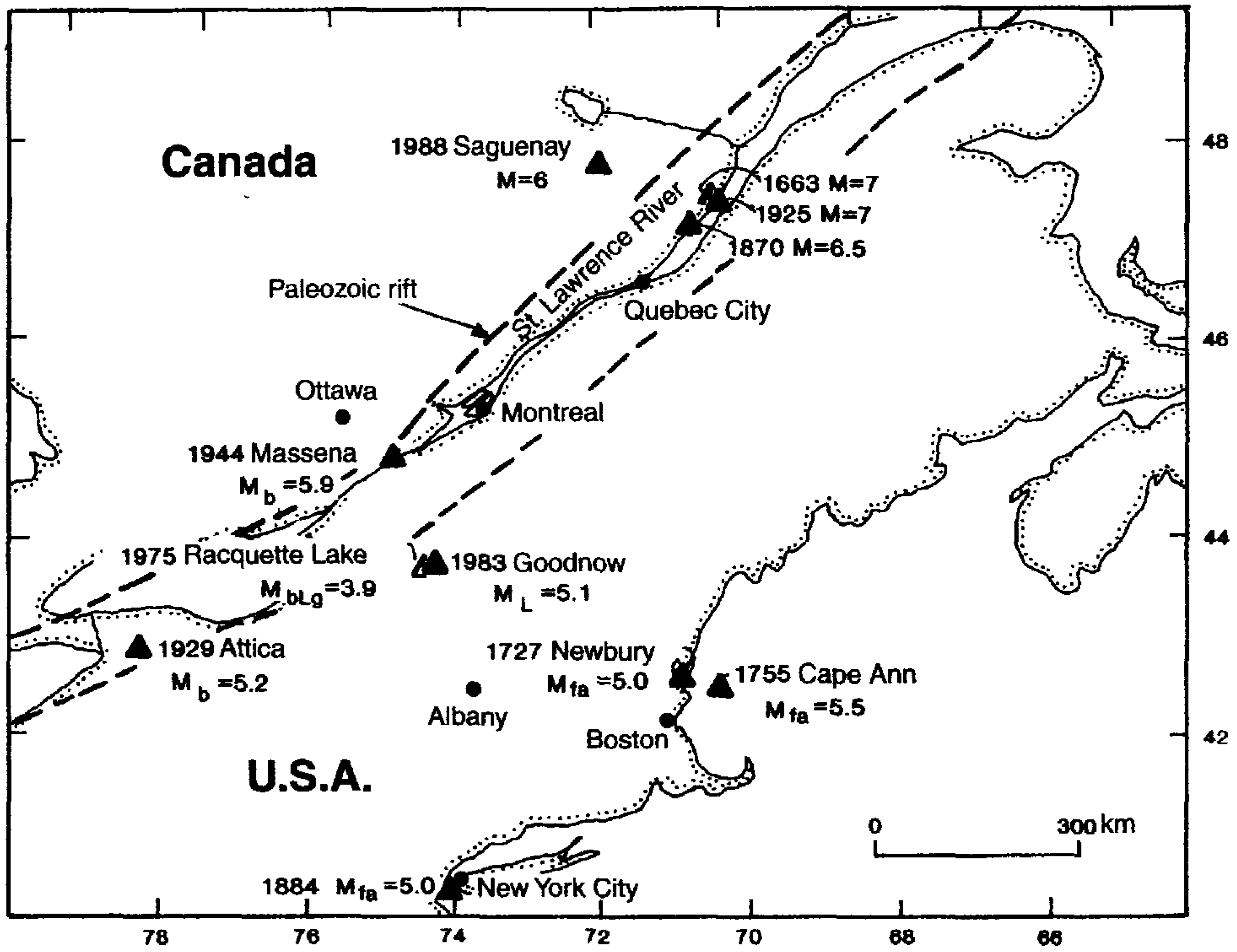
الشكل (١٩-٥) مخطط صندوقى لأخدود ديلفوت، وادى الأخدود الضعيف القديم تحت المنحنى العلوى لنهر مسيسيبي. ويحتمل حدوث زلازل كبيرة نتيجة للإجهادات التكتونية الحالية التى تحدث انهيارات فى الصدوع القديمة.



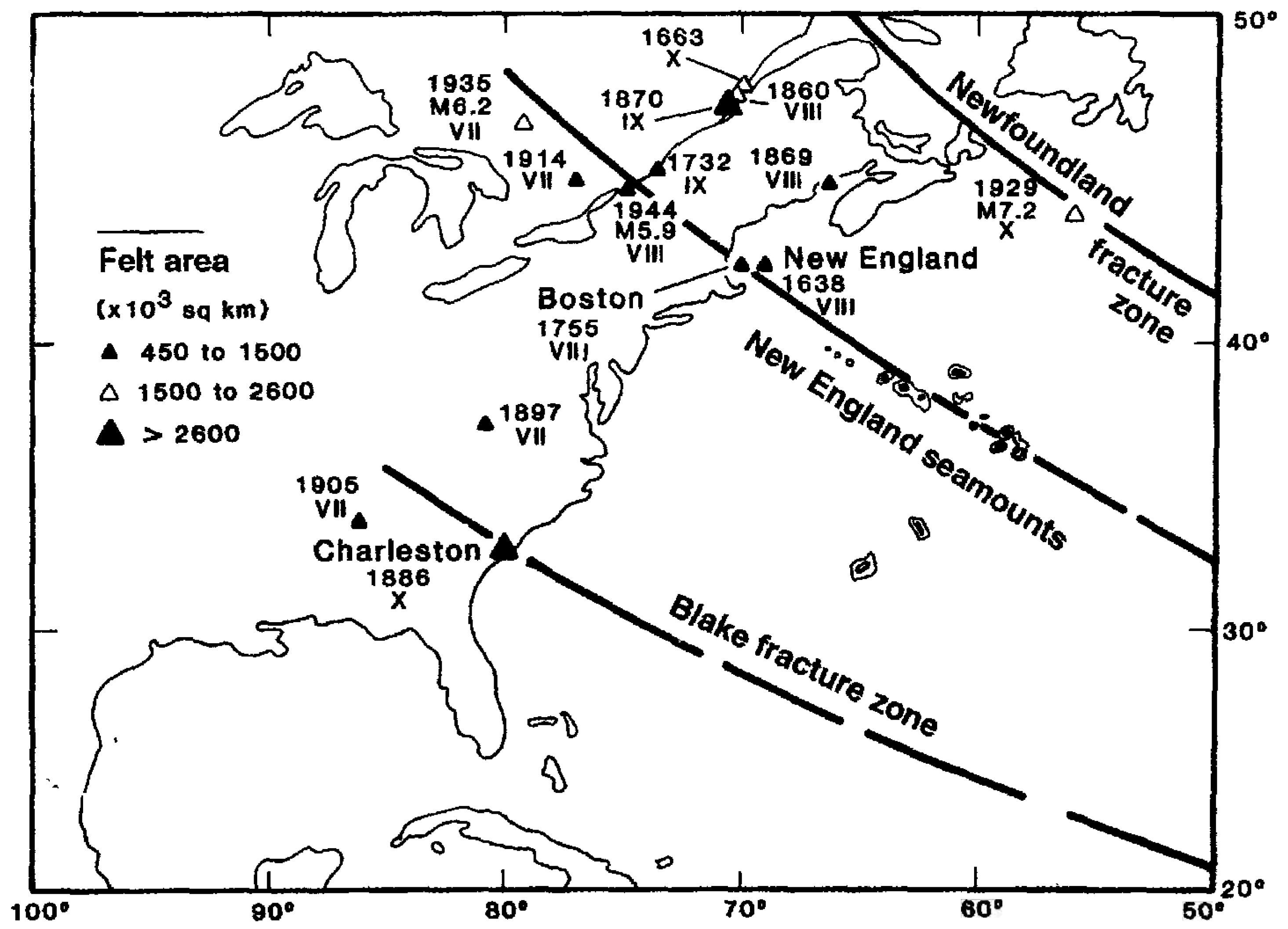
الشكل (٥-٢٠) خريطة تخطيطية للأخاديد التي تمزقت في القارة الآن بنجاليا منذ حوالي ٢٢٠ مليون سنة. وتشابكت الأخاديد المتتابعة لتفتح حوض المحيط الأطلنطي.



الشكل (٢١-٥) خريطة توضح الأوضاع التقريبية للأخاديد القديمة المطمورة في وسط الولايات المتحدة. وحدث تشقق الأخاديد أثناء الأزمنة الثلاثة التالية - منذ حوالي ٢٠٠ - ١٧٥ مليون عام، ومنذ ٦٠٠-٥٠٠ مليون عام ومنذ ١,١٠٠-١,٠٠٠ مليون عام. وانشقت ظاهريا بعض الأخاديد القديمة ثانية تحت أنظمة الألواح التكتونية الأخيرة. وتعني رموز الأخاديد ما يلي: **D** ديلاوير و **EC** شرقي القارة و **FW** فورت وين و **LS** لاسال و **MC** وسط القارة و **MM** وسط ميتشجين و **RC** رف كريك و **RR** ريلفوت و **RT** روم تراف و **SIA** لسان جنوبي إنديانا و **SLA** لسان سان لويس و **SO** جنوبي أوكلاهوما.



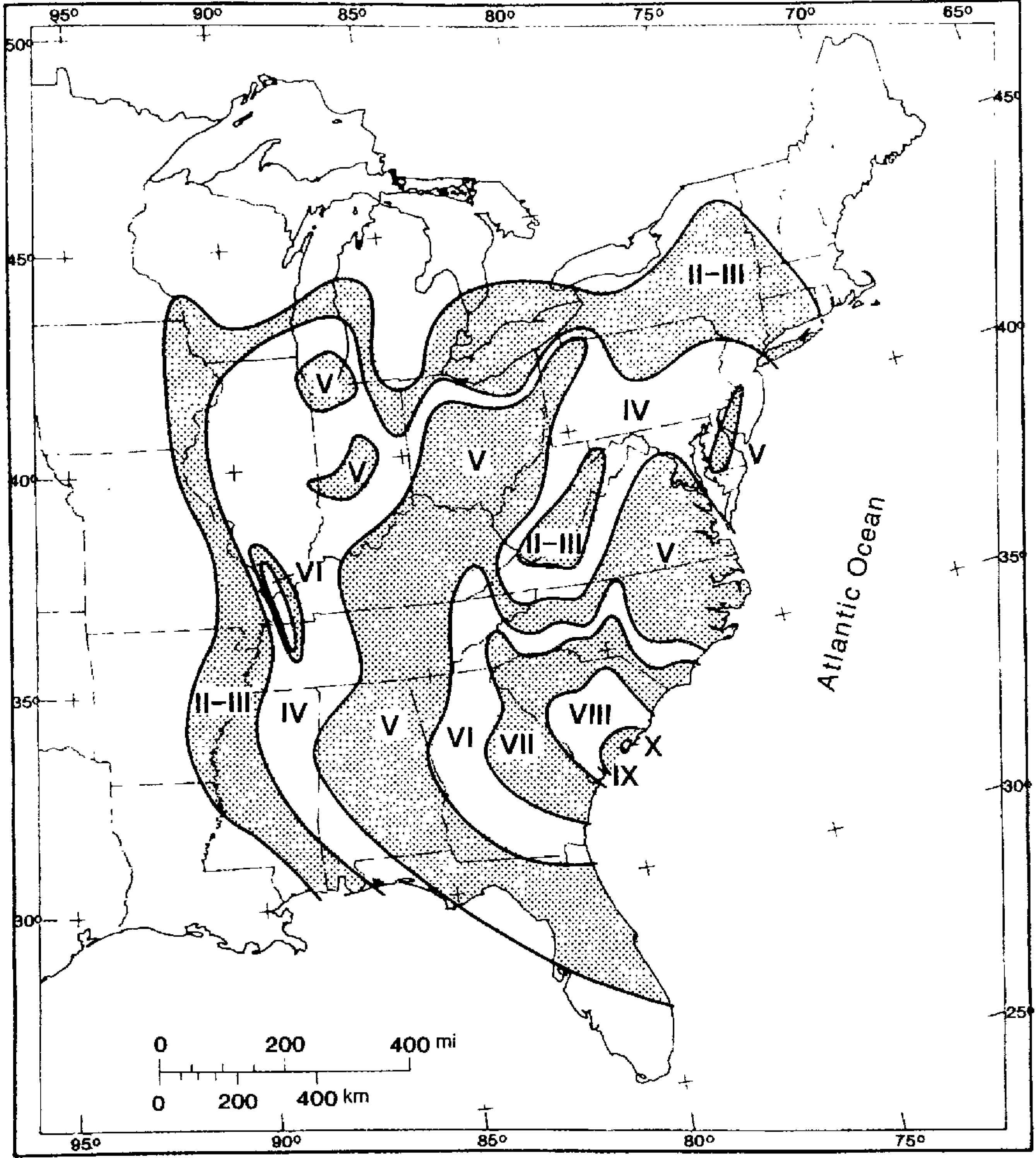
الشكل (٢٢-٥) بعض مواقع الزلازل في منطقة وادي نهر سان لورانس والمواقع التقريبية لوادي الأخدود القديم البالغ عمره من ٦٠٠ حتى ٥٠٠ مليون سنة. ويعني الرمز M_{fa} قوة الزلزال مقدرة في المنطقة التي تشعر بالزلازل **felt area**. وتقع الزلازل الكبرى في شمال شرقي مدينة كويبيك في منطقة زلازل شارليفوا.



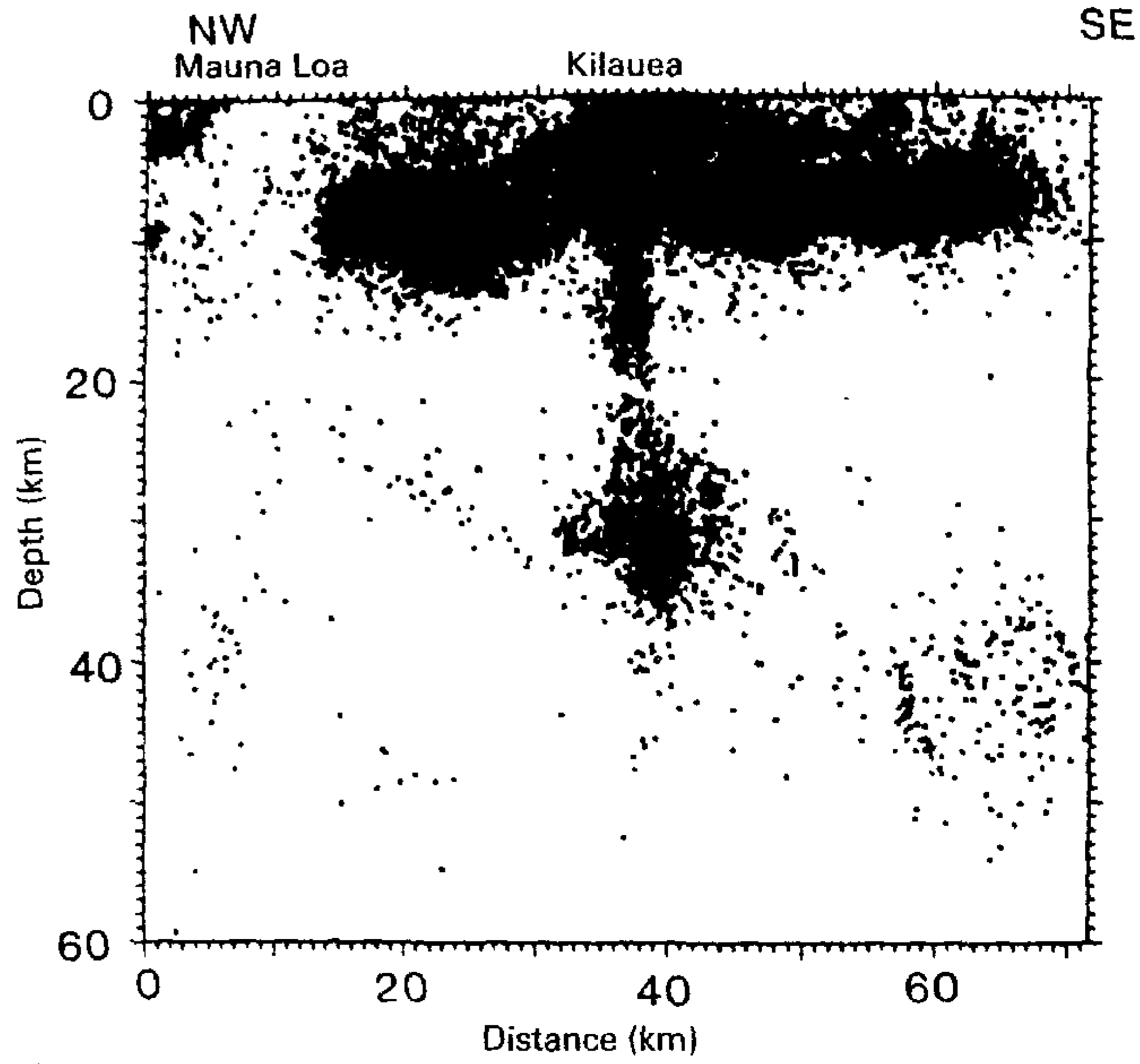
الشكل (٢٣-٥) مواقع المراكز السطحية للزلازل في شرقى الولايات المتحدة وكندا وامتداد الصدوع التحويلية فى منطقة الشقوق فى مركز انتشار وسط المحيط الأطلنطى.



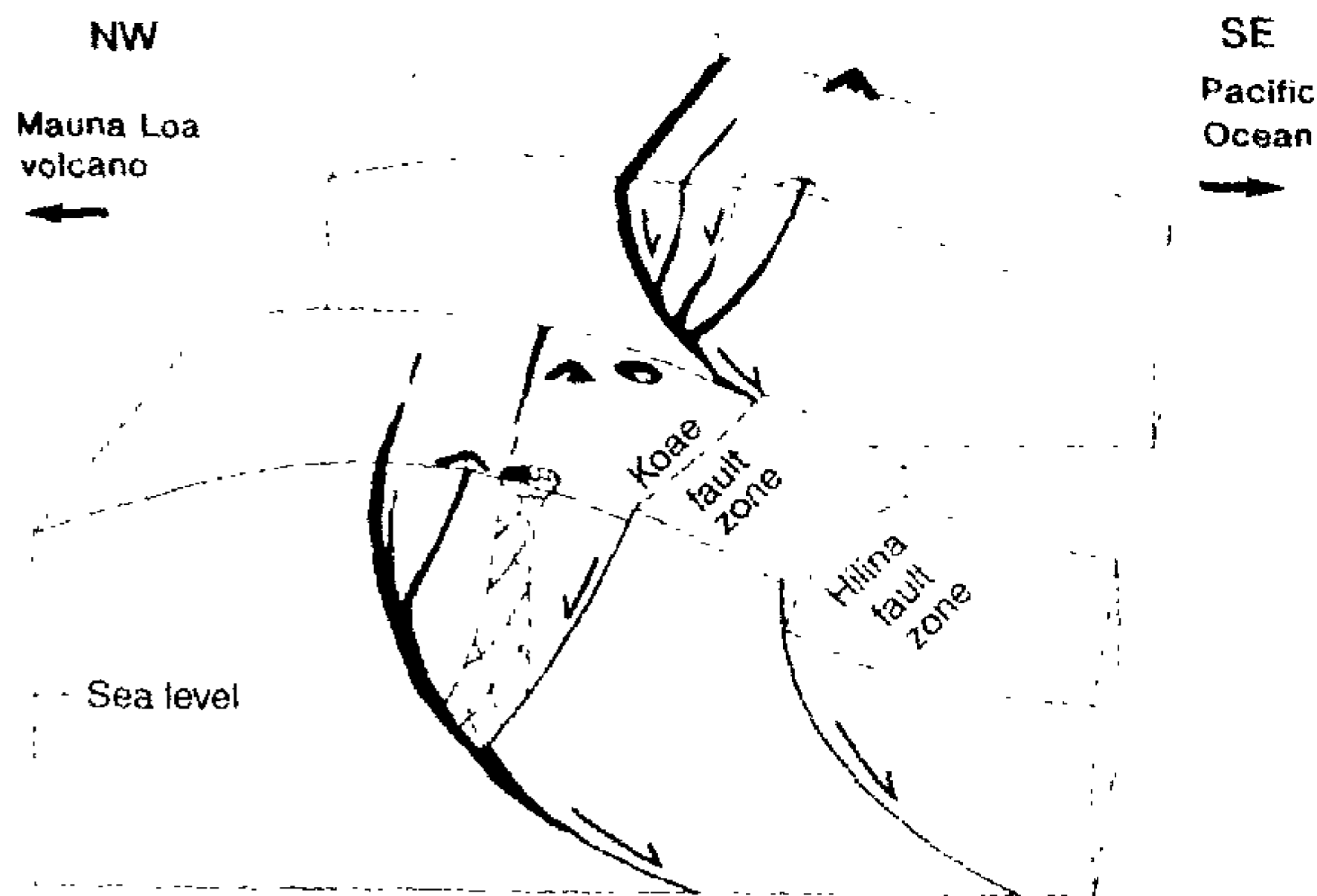
الشكل (٢٤-٥) بعض الخسائر من الزلازل ١٨٨٦ في شارلستون في جنوبي كارولاينا.



الشكل (٥-٢٥) خريطة لشدة زلزال ٣١ أغسطس ١٨٨٦ الواقع بالقرب من شارلستون في جنوبي كارولينا مقدرة بمقياس ميركالي.



الشكل (٢٦-٥) قطاع مقطعى يوضح البؤر تحت بركان كيلويا على جانب بركان مونا لوا الأكبر منه فى جنوب شرقى هاواى فى الفترة من ١٩٧٠ حتى ١٩٨٣.



الشكل (٢٧-٥) مخطط صندوقى للجانب الجنوبى الشرقى لبركان كيلويا. وتضغط الصهارة المتداخلة (ذات اللون الأسود) على الصخور الهشة لتكسرها وتحركها محدثة زلازل. وتؤدي الصدوع العادية المنزلقة بمساعدة قوة الجاذبية إلى مزيد من الزلازل حيث تنزلق كتل صخرية نحو الجنوب الشرقى فى المحيط.

جداول الفصل الخامس

الجدول (٥-١) بعض الزلازل الكبيرة في أمريكا الشمالية (باستثناء ألاسكا وكاليفورنيا والمكسيك)

Date	Location	Intensity	Magnitude	Fatalities
11 Jun 1638	near Plymouth, Massachusetts	IX		
5 Feb 1663	Charlevoix, Quebec	X	7.5 M	
9 Nov 1727	near Newberry, Massachusetts	VII	5+ M	
16 Sep 1732	St. Lawrence River, Ontario	IX	6.1 M	7
18 Nov 1755	offshore Cape Ann, Massachusetts	VII	6.3 M	
16 Dec 1811	New Madrid, Missouri	XI	8.2 M	
23 Jan 1812	New Madrid, Missouri	XI	8.1 M	
7 Feb 1812	New Madrid, Missouri	XI	8.3 M	
4 Jan 1843	Marked Tree, Arkansas	VIII	6.4 M	
2 Apr 1868	south tip of Hawaii	X		148
20 Oct 1870	Charlevoix, Quebec	IX	6.6 M	
14 Dec 1872	North Cascades, Washington	IX	7.0 M _s	
31 Aug 1886	Charleston, South Carolina	X	7.7 M _s	
31 Oct 1895	near Charleston, Missouri	IX	6.8 M	
31 May 1897	Giles County, Virginia	VIII	6.3 M _s	
26 May 1909	Aurora, Illinois	VIII		
2 Oct 1915	Pleasant Valley, Nevada	X	7.6	
6 Dec 1918	Vancouver Island, British Columbia	VIII	7 M _s	
28 Feb 1925	Charlevoix, Quebec	IX	7 M	
27 Jun 1925	Manhattan, Montana	IX	6.7 M	
12 Aug 1929	Attica, New York	IX	5.8 M	
18 Nov 1929	Grand Banks, offshore Canada	X	7.2 M	27
20 Apr 1931	Lake George, New York	VIII		
16 Aug 1931	near Valentine, Texas	VIII	6 M	
20 Dec 1932	Cedar Mountain, Nevada	X	7.2 M	
12 Mar 1934	Kosmo, Utah	VIII	6.6 M _s	2
18 Oct 1935	Helena, Montana	VIII	6.2 M _s	4
31 Oct 1935	Helena, Montana	VIII	6.0 M _s	
1 Nov 1935	Timiskaming, Ontario	IX	6.4 M	
9 Mar 1937	Anna, Ohio	VIII	5.3 m _b	
5 Sep 1944	near Massena, New York	IX	6 M	
23 Jun 1946	Vancouver Island, British Columbia	VIII	7.2 M _s	
17 Apr 1949	Olympia, Washington	VIII	7.1 m _b	8
6 Jul 1954	Fallon, Nevada	IX	6.6 M	
23 Aug 1954	Fallon, Nevada	VIII	7.0 M	
16 Dec 1954	Dixie Valley, Nevada	X	7.2 M	
17 Aug 1959	Hebgen Lake, Montana	X	7.5 M _s	28
29 Apr 1965	Puget Sound, Washington	VIII	6.5 m _b	7
9 Nov 1968	southern Illinois	VII	5.5 m _b	
28 Mar 1975	Pocatello Valley, Idaho	VIII	6.1 M	
29 Nov 1975	Hawaii	VIII	7.2 M _b	2
27 Jul 1980	near Maysville, Kentucky	VII	5.1 m _b	
28 Oct 1983	Boise Peak, Idaho	IX	7.3 M _s	2
31 Jan 1986	northeast Ohio	VI	5	
12 Mar 1986	Mullan, Idaho	II	2	1
25 Mar 1993	Scotts Mill, Oregon	VII	5.6	
20 Sep 1993	Klamath Falls, Oregon	VII	5.9 & 6.0	2
3 May 1996	Seattle, Washington	VII	5.4	
24 Oct 1997	southern Alabama	VII	4.9 M _s	
25 Sep 1998	Sharon, Pennsylvania	VI	5.2	

الجدول (٥-٢) بعض الزلازل الكبيرة في هاواي

Date	Location	Intensity	Magnitude
2 Apr 1868	Southeast Hawaii	X	~7.4
5 Oct 1929	Honualoa, Hawaii	VII	6.5 M _s
22 Jan 1938	North of Maui	VIII	6.7 M _s
25 Sep 1941	Mauna Loa, Hawaii	VII	6.0 M _s
22 Apr 1951	Kilauea, Hawaii	VII	6.5
21 Aug 1951	Kona, Hawaii	IX	6.9
30 Mar 1954	Kalapana, Hawaii	VII	6.5
26 Apr 1973	Southeast Hawaii	VIII	6.3
29 Nov 1975	Southeast Hawaii	VIII	7.2 M _s
16 Nov 1983	Mauna Loa, Hawaii	VII	6.6 M _s
25 Jun 1989	Kalapana, Hawaii	VIII	6.5

مراجع الفصل الخامس

نصوص ومراجع مقترحة Suggested Readings and References

- Active Tectonics*. (1986). Washington, D.C.: National Academy Press.
- Adams, J. (1992). Paleoseismology: A search for ancient earthquakes in Puget Sound. *Science*, 258, 1592–93.
- Baldrige, W. S., and Olsen, K. H. (1989). The Rio Grande rift. *American Scientist*, 77, 240–47.
- Earthquakes in Missouri*. (Undated). Rolla, Mo.: Missouri Department of Natural Resources.
- Gordon, D. W. (1988). Revised instrumental hypocenters and correlation of earthquake locations and tectonics in the central United States. U.S. Geological Survey Professional Paper 1364.
- Hamilton, R. C., and Johnston, A. C., eds. (1990). Tecumseh's prophecy: Preparing for the next New Madrid earthquake. U.S. Geological Survey Circular 1066.
- Johnston, A. C., and Kanter, L. R. (1990, March). Earthquakes in stable continental crust. *Scientific American*, 68–75.
- Klein, F. W., and Koyanagi, R. Y. (1989). The seismicity and tectonics of Hawaii. *Decade of North American Geology*. (Vol N, 238–52). Boulder, Co.: Geological Society of America.
- Noson, L. L., Qamar, A., and Thorsen, G. W. (1988). Washington State earthquakes. Washington Division Geology and Earth Resources, Information Circular 85.
- Nuttli, O. W., et al. (1986). The 1886 Charleston, South Carolina earthquake—A 1986 perspective. U.S. Geological Survey Circular 985.
- Slemmons, D. B., Engdahl, E. R., Zoback, M. D., and Blackwell, D. D. eds. (1991). *Neotectonics of North America*. (Decade map volume). Boulder, Co.: Geological Society of America.
- Stein, R. S., and Buckman, R. C. (1986, June). Quake replay in the Great Basin. *Natural History*, 29–35.

Videos

الفيديو

- Hidden Fury: The New Madrid Earthquake Zone. (1993). Bullfrog Films (27 min.).
- Earthquake Awareness and Risk Reduction in Utah. (1991). Utah Geological Society (25 min.).
- Earthquake Risk in the Central United States. (1988). Federal Emergency Management Agency (9 min.).
- Surviving the Big One. (1990). KCET-TV (58 min.).
- Subject to Change. (1988). Pacific Bell (17 min.).

الفصل السادس

البراكين

من المفيد أن نؤكد أن ثورة الأرض...

ليست صنعة آلهة هناك غاضبة.

فهذه الظواهر تكمن من ورائها

عواملٌ أخرى.

لوشياس أنيوس سينيكا، ٦٣ م

مسائل طبيعية

مخاطر ثورات البراكين واضحة، ولكن فترات الهدوء بين النشاطات البركانية مضللة. وينخدع بعض الناس بالبراكين كما تنخدع المفراشات بالذهب؛ حتى أولئك الذين يعرفون عنها الكثير. ففي يوم ١٤ يناير ١٩٩٣ نصب علماء البراكين الذين حضروا ورشة عمل في كولومبيا كجزء من برنامج عمل مؤتمر العقد العالمي لتقليل آثار الكوارث الطبيعية مخيمهم في قمة فوهة بركان جاليراس لأخذ عينات من الغازات وقياس قوة الجاذبية. وكانوا يبحثون عن وسائل للتنبؤ بالثورات المحدقة. وظل البركان هادئاً منذ يوليو ١٩٩٢، ولكن أثناء زيارتهم فارت ثورة ثانوية غير متوقعة بقوة الغازات فقتلت ستة من الفريق العلمي - أربعة من كولومبيا وروسي وإنجليزي. ولم تكن وفاتهم حدثاً غير عادي (الجدول ٦-١). فما هم إلا مثال بسيط لأحداث أكبر حسيامة حدثت عندما

اندلع أحد البراكين فجأة فدفن مدينة بأكملها. وفي الفترات الطويلة لخمود البراكين يميل الناس لبناء مدنهم بالقرب من البراكين. فمثلا، كان ٤٠٠٠٠٠ نسمة يعيشون على حواف بركان جاليراس متحدّين بذلك حتمية الثورة الكبيرة التي تقضى على الحياة حولها.

فالبركان الواحد يمكن أن يظل نشيطا لملايين السنين، ولكن فترات ثورته تفصلها عادة قرون من الهدوء، فتغرى البعض بإحساس أمني خادع. وفي حوالى عام ٤١٠ قبل الميلاد كتب نيوسايدس يقول: «التاريخ يعيد نفسه». ونعرف جيدا أن من يتجاهل دروس التاريخ يكتب عليه أن يكرر أحداثها. ففي كل عام يضحي عدد كبير من الناس بأرواحهم فى الثورات البركانية.

تشرح ثورة البركان

تتدفق الطاقة الداخلية للأرض نحو الخارج مثل الحرارة (انظر الفصل الأول). ويرتفع جزء صغير من هذه الحرارة إلى أعلى على شكل ريشات (نافورات) محلية مركزة تغلى الماء وتسيل الصخر. وما طفوح الينابيع الحارة والنفورات(*) وثورات البراكين إلا وسائل سريعة تطرد الأرض بها بعضا من حرارتها الداخلية. ويشمل النوعان من الثورات بعضا من نفس المبادئ.

كيف تنور الفوارة

يسمى فوران الماء الفائق الحرارة بفعل الصهارة فوارة (مرجل طبيعى). اشتق هذا الاسم من الكلمة الآيسلاندية *geysir* التى تعنى الفوران أو الثورة. وتشمل المناطق

(*) فوارة، مرجل طبيعى *geyser* ينبوع ساخن يتفجر من آن لآخر فيقذف بخارا وماء حارا. (ما هى الجيولوجيا؟- المترجم)

ذات النشاط فى الفوارات آيسلاند وتشيلي وييلوستون بارك فى الولايات المتحدة والجزيرة الشمالية من نيوزيلاند وشبه جزيرة كاماتشاتكا فى روسيا. وتشترك هذه المواقع فى خصائص عامة: فالماء جاهز تحت السطح والحرارة وفيرة. والماء المتكون من الجليد والأمطار والأنهار والبحيرات ينجذب إلى أسفل بفعل الجاذبية إلى تحت سطح الأرض حيث يتحرك ببطء خلال شبكة من الفجوات التى أحدثتها الشقوق والكهوف والمسام فى الصخور. والماء المتجه إلى أسفل فى دورته المعروفة يواجه الحرارة من كتلة الصحارة القريبة من السطح، فيمتص بعضا من هذه الحرارة ثم يثور (الشكل ٦-١). ولكى تتكون الفوارة لابد أن تكون الحرارة زائدة. فمثلا، تبلغ الحرارة المتدفقة فى حوض الفوارة العليا فى ييلوستون بارك أعلى من ٨٠٠ ضعف لمتوسط الحرارة العادية.

ويتجاهل هذا الوصف البسيط للتفاعل المعقد للحرارة والضغط اللذين يؤديان إلى الثورة. فالماء يغلى عند درجة حرارة ١٠٠ مئوية (٢١٢ فهرنهايت) عند منسوب سطح البحر. وعلى ارتفاع ييلوستون بارك البالغ ٢,١٥٠ مترا (أكثر من ٧,٠٠٠ قدم) يخف الضغط الجوى فوقه فيغلى الماء عند درجة حرارة ٩٣ مئوية (١٩٣ ف). وعلى أية حال، فإن الماء الموجود على عمق ٣٣٢ مترا (١,٠٨٨ قدما) عند الحفر تحت السطح فى منطقة حوض فوارة نوريس فى ييلوستون بارك كان لا يزال سائلا عند درجة حرارة ٢٤١ مئوية (٤٦٥ ف). فكيف يظل الماء سائلا عند هذه الحرارة؟ يظل الماء سائلا لأن الضغط فى هذا العمق مرتفع جدا يحول دون تحوله إلى بخار. فماذا يحتاج إليه الماء لى يتحول إلى بخار فى هذا العمق الكبير تحت السطح؟ إما يحتاج إلى حرارة أعلى أو ضغط أقل ليتم تحوله إلى بخار.

والماء الذى يدور فى دورته على عمق آلاف الأقدام تحت السطح يمكن تسخينه إلى درجات حرارة أعلى بكثير من ١٠٠ مئوية (٢١٢ ف) بدون غليان نظرا إلى أن ضغط كتلة الماء الجوفى التى تعلوه يكون عاليا جدا (الشكل ٦-٢). وعلى أية حال، فعندما يغلى هذا الماء الفائق السخونة يتمدد حجمه عندما يتحول السائل إلى بخار ويساعد على رفع الماء المحيط به إلى أعلى حيث يخف الضغط. وفى الأعماق الضحلة والضغط الأقل يتحول بعض الماء بسرعة البرق إلى بخار؛ وهذا يساعد على رفع مزيد

من الماء الفائق السخونة إلى المستويات الأقل ضغطا، وهكذا. ولهذا، يحمل الماء الفائق السخونة المرتفع إلى أعلى مزيدا من الطاقة اللازمة لثورة الفوارة.

فماذا يثير تدفق الفوارة؟ ليست الحرارة المضافة بل الضغط المنخفض. وعادة ما تتبع ثورة الفوارة هذا التسلسل في الأحداث: (١) ففي العمق، يتدفق الماء الفائق السخونة من الشروخ الدقيقة المضغوطة إلى خزانات كبيرة الحجم للفوارة. (٢) وعندما ترتفع الحرارة يتحول بعض الماء بسرعة البرق إلى بخار. (٣) ترتفع فقاعات البخار إلى مستويات أقل في الضغط وتتمدد باستمرار. (٤) ويصل الماء المرتفع إلى نقطة حرجية حيث يتزايد البخار والفقاعات بدرجة يجتاح فيها الماء ويحمله إلى أعلى مسببا المزيد والمزيد من التحول إلى بخار على طول الطريق الذي يسلكه إلى أعلى. (٥) وفي النهاية يحدث الفوران العجيب المنظر.

كيف يثور البركان

تبدأ ثورة البركان مثل ثورة الفوارة بالحرارة في العمق. فالصخر الفائق السخونة يرتفع إلى مستويات ذات ضغط أقل، وربما تحولت بعض الصخور الصلبة إلى صهارة سائلة، وتتمدد في الحجم الأمر الذي يؤدي إلى الثورة خطوة خطوة (الشكل ٦-٣).

وتتكون الصهارة من الصخور السائلة الموجودة. وربما يسيل الصخر بالآتي: (١) تخفيف الضغط عنه. (٢) رفع درجة الحرارة. (٣) زيادة محتوياته من الماء. وتتولد معظم الصهارة من خفض الضغط على الصخر الساخن. فمثلا، يرتفع الصخر الصلب الساخن الذي يسهل تحركه في الوشاح إلى أعلى ويواجه تدريجيا ضغطا أقل وسيولة تلقائية، بدون إضافة المزيد من الحرارة. وتسمى عملية الانصهار عن طريق تخفيف الضغط بالإذابة بتخفيف الضغط.

ويوجد أكبر خزان قريب من الصخر الفائق السخونة الجاهز للانصهار في نطاق الانسياب (أستينوسفير) المنصهر تقريبا؛ وهذا الصخر الساخن بالقدر الكافي

للتدفق بدون سيولة، هو المصدر الرئيسى للصهارة. وعندما يرتفع هذا الصخر الفائق السخونة ينخفض ضغطه فيسمح لبعض الصخور بالانصهار. ويرفع المخلوط المكون من الصخر الساخن الصاعد والصهارة من حرارة الصخور التى يمر خلالها، وبهذا يصهر أجزاء من الصخور العلوية.

فإذا انخفض الضغط فى نطاق الانسياب أو فى القشرة الأرضية، انصهرت بعض الصخور بما يصاحبها من تمدد فى الحجم يؤدي إلى تشقق الصخور العلوية. وتسمح هذه الشقوق بارتفاع مزيد من المادة إلى مستويات الضغط المنخفض، مما يؤدي إلى إسالة مزيد من الصخور. فمثلا، تسيل صخور البازلت على عمق ٣٢ كم (٢٠ ميلا) تحت درجة حرارة ٤٣٠، ١٠٠٠ مئوية (٢، ٦٠٠ ف)، بينما نفس هذا الصخر يسيل فقط تحت درجة حرارة ٢٥٠، ١٠٠٠ مئوية (٢، ٢٨٠ ف) على سطح الأرض. وحيث إن الصخر المتحرك إلى أعلى/ الصهارة يصل إلى أقل مستويات الضغط؛ فإن الصخر الصاعد يمكن أن يسيل ويمكن للصهارة أن تزيد من سيولتها بحيث تؤدي بالتالى إلى تسخين الصخر بدرجة حرارة فائقة ليصبح صهارة.

ولا تحتوى الصهارة فى العمق على فقائيع غازية لأن الضغط العالى فى العمق يبقى على الغاز مذابا فى المحلول. ولكن عندما ترتفع الصهارة نحو السطح يستمر الضغط فى الانخفاض وتبدأ الغازات فى التسرب من المحلول مكونة فقائيع تتمدد كلما انخفض الضغط (الشكل ٦-٤). ويساعد المزيد من ارتفاع فقاعات الغاز المتنامية فى الحجم على دفع الصهارة إلى أعلى خلال الشقوق أو الأنابيب حتى تفور. وتستمر فقاعات الغاز فى الزيادة فى العدد والحجم طالما ظلت الصهارة ترتفع إلى أعلى حيث يقل الضغط. وعندما يبلغ حجم فقاعات الغاز حوالى ٧٥٪ يمكن للغاز أن يكتسح الصهارة ويفتتها إلى أجزاء ويحملها إلى أعلى وإلى الخارج فى نافورة غاز قوية (الشكلان ٦-٣ ، و٦-٤). وعند خروج نافورة الغاز من البركان تسحب الهواء الذى يساعد على طفو السحابة (الريشة) العنيفة.

فلماذا تتدفق الصهارة من بعض البراكين بهدوء وسلام نسبيا، بينما تندفع من براكين أخرى متوهجة بعنف وتحدث وفيات على نطاق واسع؟ وترجع الإجابة عن هذا

السؤال إلى: (١) اختلاف التركيب الكيميائي المعدني في الصحارات؛ (٢) اختلاف درجات الحرارة ولزوجة الصحارات ومحتوياتها من الماء والغاز؛ (٣) اختلاف المواقع الجغرافية بالنسبة لحواف الألواح التكتونية والنقاط الحارة. ويلزمنا فهم هذه الاختلافات.

التركيب الكيميائي والمعدني للصحارة

رغم أن هناك ٩٢ عنصرا طبيعيا موجودا، فإن ثمانية منها فقط هي التي تشكل أكثر من ٩٨٪ من القشرة الأرضية (الجدول ٦-٢). والأربعة عناصر التالية الأكثر انتشارا تضيف إلى القشرة الأرضية كذلك ٢, ١٪ لتصبح النسبة المئوية لوزن هذه العناصر الإثني عشر ٩٩, ٢٣٪. وتشمل النسبة المتبقية وهي ٧٧, ٠٪ الذهب والفضة والنحاس والكربون والكبريت والقصدير وعدة عناصر معروفة أخرى.

وتبلغ عناصر الأكسجين والسيليكون من الوفرة ما يجعل نسبتها تفوق كل العناصر الأخرى. وتحمل ذرات الأكسجين شحنات سالبة (٢-)، بينما تحمل ذرات السيليكون شحنات موجبة (٤+). وعندما تبدأ الصحارة في البرودة وتتحول إلى الصلابة فإن ذرات السيليكون وذرات الأكسجين أول ما يتحد فيها. ويتحد السيليكون والأكسجين بإحاطة ٤ ذرات من الأكسجين ($4 \times 2- = 8-$) بمركز ذرة السيليكون (٤+) لتكون أكسيد السيليكون الرباعي السطوح (SiO_4) (الشكل ٦-٥). وأكسيد السيليكون هذا الرباعي السطوح SiO_4 يأتي بشحنة سالبة (٤-) على سطحه الخارجي لتجذب إليها الذرات ذات الشحنة الموجبة وتتحد معها. وبعد الأكسجين السالب الشحنة تصبح العناصر الأوفر الأحد عشر جميعها موجبة الشحنة (الجدول ٦-٢)؛ فتنجذب نحو الأكسجين وتتحد معه. وهذه العملية شائعة وكبيرة إلى درجة أن هذه الوفرة من العناصر في القشرة الأرضية عادة ما تسجل متحدة مع الأكسجين (بصفتها أكاسيد). وتختلف النسب المئوية لأوزان هذه العناصر اختلافا كبيرا في القشرة القارية عنها في القشرة المحيطية (الجدول ٦-٣). ويحدث الاختلاف الملحوظ في نسب الأكسجين تركيبات وخواص متنوعة في الصحارة.

وتتحد العناصر الثمانية الأكثر انتشاراً في أشكال مختلفة لتكون مئات من مختلف المعادن. وتسمى عملية تكوين المعادن في الصهارة التي تبرد بالتبلور. وكما هو الحال في العناصر، تحدث درجة من البساطة في الصهارة المتبلورة لأن الغالبية العظمى من القشرة الأرضية مكونة من العناصر الثمانية الشائعة للمعادن المكونة للصخور. وكشفت الاختبارات المعملية والفحوصات المجهرية للمعادن المكونة للصخور عن نظام تبلور هذه المعادن من الصهارة التي تبرد (الشكل ٦-٦).

وتنقسم الصهارة التي تصل إلى السطح بدرجات حرارة تتراوح من ١,٠٠٠ حتى ١,٢٠٠ مئوية (١,٨٣٠ حتى ٢,١٩٠ °ف) إلى خطين منفصلين من النمو المعدني:

١- يتحد الحديد والمغنيسيوم بالألومنيوم وأكسيد السيليكون الرباعي السطوح عندما تتناقص درجة حرارة الصهارة مشكلة بالتتابع أربعة فصائل متميزة وغير مستمرة من المعادن - الزبرجد الزيتوني (أوليفين) وسيليكات المغنيسيوم (بايروكسين) وأمفيبولات وبيوتيت ميكا (مادة زجاجية سوداء داكنة).

٢ - ويتحد الكالسوم بالألومنيوم Al_2O_3 وأكسيد السيليكون الرباعي الأسطح SiO_2 ليبدأ تكوين فصيلة بلاجيوكليز فلسبار (ضرب من الفلسبار). وهي سلسلة متعاقبة من المعادن. وعندما تنخفض درجة الحرارة يتحد الصوديوم تدريجياً (وقليل من الكالسيوم) بتركيبة بلورات البلاجيوكليز. وعندما تبرد الصهارة إلى درجة ٨٠٠-١,٠٠٠ مئوية (١,٤٧٠ - ١,٨٣٠ °ف) يستنفد بشكل كبير في بلورات الحديد Fe والمغنيسيوم Mg والكالسيوم Ca . ويتبلور الآن البوتاسيوم في مسكوفيت ميكا ومعادن الفلسبار الغنية بالبوتاسيوم، ويتحد السيليكون الزائد مع الأكسجين بدون عناصر أخرى ليكونا المرو المعدني (الكوارتز).

وكما تتحد العناصر لتكون المعادن، تتكثف المعادن هي الأخرى لتكون الصخور. وللصهارة مجال واسع في التركيبات مكونة نماذج متعددة ومختلفة من الصخور النارية التي صنفتها أجيال من علماء الجيولوجيا في منظومات مذهلة من أسماء الصخور. غير أن فكرة واعية ربما تطرأ على الأذهان عند تأمل ثلاثة نماذج فقط من الصهارة وثلاث فصائل من الصخور النارية التي تتكون منها. وهذه النماذج من الصخور تعتمد

على النسبة المئوية للسيليكون والأكسجين المكونة لها (SiO_4) (الجدول ٦-٤). فإذا بردت الصهارة وتجمدت تحت السطح، تبلورت على شكل صخور جوفية Plutonic rocks (*) وسميت كذلك على اسم بلوتو إله العالم السفلى عند الإغريق القدماء. وإذا وصلت الصهارة إلى السطح، تكونت صخور بركانية، Volcanic rocks سميت باسم فولكان، إله النار عند الرومان القدماء. ويوضح الجانب الأيمن من الشكل (٦-٦) النماذج الثلاثة الرئيسية للصخور البركانية ويليها تكويناتها المعدنية المهمة. وهذه الصهارة ذات خصائص متباينة نظرا لاختلاف درجات الحرارة ومحتوياتها من الغاز ولزوجتها.

المواد البركانية

تحتوى كل الصهارات على غازات مذابة. وكلما ارتفعت الصهارة إلى السطح تحرر المزيد من الغازات المذابة متأثرا بانخفاض الضغط. وتتحرك الصهارة التي تصل إلى السطح نمطيا على شكل تدفقات من الحمم (**) إذا كان تسرب الغاز سهلا. فإذا احتبس الغاز وظل باقيا في الصهارة، فربما انفجر في الهواء على شكل حطام الصخور الفتاتية الحرارية (***).

وتدفقات الحمم تشبه بصفة خاصة صهارة البازلت وتطرح تنويعا من الأنسجة (الجدول ٦-٥). وربما تبرد الحمم العالية السيولة على شكل سطح أملس يشبه الحبال يسمى حمما حبلية ملساء (باهوهو) (****) (الشكل ٦-٧). وتكون الحمم البطيئة التدفق

(*) صخور جوفية (بلوتونية). (معجم الجيولوجيا - المترجم)

(**) الحمم - اللابة lava، حمم من صهير الصخر تسيل من فوهة البركان، ويطلق أيضا على الصخر الصلب الناشئ عن تبرد هذه الحمم. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

(***) صخور فتاتية حرارية pyroclastic rocks - ما يتصلب من مقذوفات البراكين المفتتة في هيئة رماد أو كسر صغير. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

(****) لابة الباهوهو pahoehoe - اللابة المتجمدة التي لها سطح ناعم أو حبل أو متموج ويكثر وجودها بجزر هاواي. (ما هي الجيولوجيا؟ - المترجم)

والعالية اللزوجة عادة ذات نسيج متكتل خشن يسمى الحمم الصلدة. فإذا وصلت الحمم إلى البحر أو البحيرة بردت بسرعة فى أشكال بيضوية أو شبيهة بمعجون الأسنان تسمى حمماً وسادية.

وتستطيع الانفجارات الغازية التى نتج عنها حطام الصخور الفتاتية الحرارية أن تحطم الصخر والصهارة فى أحجام تتنوع من الرماد حتى الكتل الضخمة والقنابل (الجدول ٦-٥ والشكل ٦-٨). فالصخور الفتاتية الحرارية التى يحملها الهواء ذات الحبيبات الخشنة تترسب أولاً من الغلاف الجوى أقرب ما يمكن إلى البركان، ويتبعها تدريجياً المواد الأدق على مسافات بعيدة عن البركان (الشكل ٦-٩). ويمكن تمييز الرواسب الساقطة من الهواء بتطابقها وتصنيف الصخور الفتاتية الحرارية فى طبقات مختلفة الأحجام. ويمكن لحطام الصخور الفتاتية الحرارية كذلك أن يتوهج منفجراً فوق سطح الأرض على شكل تدفقات عالية السرعة مشحونة بالغاز تكس المواد بسرعة مكونة تطابقاً غامضاً ويتصنيف بسيط أو بدون تصنيف للجزيئات مختلفة الأحجام.

ويمكن أن تتصلب الصهارة التى تصل إلى السطح بسرعة لا تستطيع معها التبلور لعدم توافر الوقت اللازم للذرات لتنسيق أنفسها فى منظومات البناء الذرى للمواد. وعندما تبرد الصهارة بهذه السرعة ينتج عنها الزجاج (الجدول ٦-٥). ويعرف الزجاج البركانى الصلب بالزجاج البركانى(*) . وعندما يتسرب الغاز بسرعة ويعنف من الحمم ربما تنتج عنه رغوة زجاجية مليئة بالثقوب التى خلفتها فقاعات الغاز السابقة؛ وهذه المادة المسامية تعرف باسم الزجاج البركانى الخفاف(**) (الخرفش)، وتحتوى على كثير من الثقوب وتستطيع العوم فى الماء.

(*) (١) الزجاج البركانى - أوبسيديان obsidian: صخر زجاجى بركانى. (ما هى الجيولوجيا؟- المترجم)

(٢) سَبْجَى - أبسيدي: اسم قديم للزجاج البركانى، ويطلق الآن على كل صخر بركانى ذى بريق زجاجى ومكسر محارى ونسيج شرائطى وتركيب رايوليتى، وغالباً ما يكون أسود اللون وقد يكون أحمر أو أخضر أو بنياً. (معجم الجيولوجيا- المترجم)

(**) الخرفش - النشف (بيومس) pumice: صخر بركانى خفيف ذو ثقوب تملؤها الغازات والهواء. (معجم الجيولوجيا- المترجم)

حرارة الصهارة ومحتواها من الغاز ولزوجتها

تقاس سيولة السوائل بلزوجتها، أى مقاومتها الداخلية للتدفق. فكلما قلت لزوجة الصهارة زادت خاصيتها السائلة. وتتدفق الصهارة القليلة اللزوجة مثل تدفق الآيس كريم فى يوم حار. وتقل لزوجة الصهارة بثلاث وسائل:

١- تؤدي الحرارة العالية إلى انتشار الذرات متباعدة عن بعضها وبذلك تقل الكثافة وتزيد السيولة. فالصهارة مزيج من السائل والمعادن التى تبلورت منها. وكلما زادت الحرارة زادت النسبة المئوية للسيولة وانخفضت النسبة المئوية لتبلور المعادن.

٢- تزيد الغازات المذابة من السيولة. فالغازات مكون رئيسى فى جميع الصهارات، والماء أكثر الغازات المذابة وفرة. ولارتفاع الحرارة تأثير كبير على حجم الغاز فى الصهارة. فمثلا، يتمدد ١ سم^٣ من الماء عند درجة قياسية من الحرارة (٢٥ مئوية) وعند الضغط الجوى (مستوى سطح البحر) ليصبح ٤٥٠٠ سم^٣ عند رفع درجة الحرارة إلى ١٠٠٠ مئوية. وخاصية التمدد هذه تساعد على الطفو.

٣- يزيد ثانى أكسيد السيليكون SiO_2 من لزوجة الصهارة لأن أكسيد السيليكون الرباعى الأسطح الوفير يتحد فى سلاسل وصفائح وشبكات محدثا التحاما وحزما أوثق للذرات يؤدي بدوره إلى صعوبة التدفق.

ويمكن التوصل إلى مفهوم أوضح للخصائص البركانية بدراسة خواص ثلاثة نماذج من الصهارة والصخور التى تنتج عنها وهى: البازلت والأنديسايت والريولايت (الجدول ٦-٦). لاحظ أن أعلى درجات الحرارة وأقل نسبة من ثانى أكسيد السيليكون تتوافر فى صهارة البازلت، مما يؤدي إلى قلة لزوجتها وسهولة تدفقها. وأقل درجات الحرارة وأعلى نسبة من ثانى أكسيد السيليكون تتوافر فى صهارة الريولايت؛ وهى المادة ذات اللزوجة العالية التى تعوق تدفقها عادة. والجدول (٦-٦) يوضح كذلك أن حوالى ٨٠٪ من الصهارة التى تصل إلى سطح الأرض من البازلت وحوالى ١٠٪ فقط من الأنديسايت و١٠٪ من الريولايت. فلماذا هذا الفارق؟ فصهارة البازلت أقل لزوجة ولهذا يصل الكثير منها إلى سطح الأرض. وبمعنى آخر، فإن صهارة الريولايت الأكثر

لزوجة تتباطأ بحيث تميل إلى الاحتباس في العمق تحت السطح حيث تبرد وتتصلب وتصبح بلورات معدنية أكبر من الصخور الجوفية مثل الجرانيت.

وعندما تبدأ براكين البازلت في الثورة في هاواي تصبح حدثا سياحيا: «فتعال لترى تدفق الحمم الحمراء المتوهجة». ورغم أن مثل هذه الثورة تجعل المشهد مثيرا، فإنها حدث آمن نسبيا. فلماذا هو آمن؟ لأن الغازات المذابة تتسرب من الصهارة القليلة للزوجة بسهولة نسبيا. قارن هذه الخاصية بثورة صهارة الريولايت ذات الحرارة الأقل والنسبة العالية من ثانى أكسيد السيليكون والزوجة العالية جدا. وعندما تنضج صهارة الريولايت فوق سطح الأرض يقل الضغط داخل الصهارة وتمدد الغازات في الحجم. ولكن كيف تتسرب الغازات من احتباسها في الصهارة اللزجة؟ بالانفجار. وكثيرا ما يموت المشاهدون لثورة صهارة الريولايت. وعندما تصل إلى مرحلة الخطورة البركانية، تصبح أعقد المشكلات كيف تستطيع الغازات المذابة أن تتسرب من الصهارة بسهولة. يقول فرانك بيريت: «الغاز عنصر نشيط والصهارة حاملة له».

حاشية جانبية: البراكين وأصل المحيط والغلاف الجوى والحياة

تسود في غازات البراكين عناصر: الإيدروجين والأكسجين والكربون والكبريت والكلور والنيتروجين. وهذه العناصر الغازية تتحد على سطح الأرض لتكون الماء H_2O وثانى أكسيد الكربون CO_2 وثانى أكسيد الكبريت SO_2 وكبريتيد الإيدروجين H_2S وله رائحة البيض الفاسد وأول أكسيد الكربون CO والنيتروجين N_2 والإيدروجين H_2 وحامض الإيدروكلوريك HCl والميثان CH_4 وغازات أخرى كثيرة. والغاز البركانى السائد هو بخار الماء؛ إذ يشكل عادة أكثر من ٩٠٪ من مجموع الغازات.

لاحظ كيف تختلف عناصر الغازات البركانية (الكربون والإيدروجين والأكسجين والنيتروجين والكبريت والكلور) عن عناصر الصخور البركانية (الأكسجين والسيليكون والألومينيوم والحديد والكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم). فعناصر الغازات البركانية تكون المحيطات والغلاف الجوى والحياة على سطح الأرض ولكنها

نادرة في الصخور. وتدفق الحرارة منذ ٥ , ٤ بليون سنة من باطن الأرض نضح على سطحها كثيرا من العناصر الخفيفة الوزن عن طريق البراكين. وتمر بلايين السنين على ظاهرة البراكين في الأرض لتشرح أصل القارات والمحيطات والغلاف الجوى وتركيزات عناصر الكربون والإيدروجين والأكسجين والنيتروجين على سطح الأرض وهى العناصر التى تنشأ بها الحياة ويعتمد بقاؤها عليها.

الأشكال الأرضية للبراكين

تشكل الصهارة الصاعدة كثيرا من التضاريس الطبوغرافية على سطح الأرض كما تكون كتلا من الصخور النارية تحت السطح (الشكل ٦-١٠). وربما تحقق الصهارة تحت السطح بين طبقات الصخور وموازية لها ثم تتصلب على شكل كتل تعرف بالجدد(*). كما تعترض الصهارة الكتل الصخرية وتحقق فى الشقوق حتى تملؤها وتعرف حينئذ بالقواطع(**). فإذا تابعت الصهارة الشقوق حتى السطح، فإما أن تتدفق الحمم أو تتور الصخور الفتاتية الحرارية. وإذا سادت الصخور الفتاتية الحرارية ربما تكون مخروطاً من الرماد.

مخروط الرماد البركانى (من البازلتي حتى الأنديسيتي)

يحدث مخروط الرماد البركانى عندما تتور الصهارة المشبعة بالغاز من قناة تصريف البركان مشكلة حطاما من الصخور الفتاتية الحرارية يسقط من الهواء ويبنى تلا مخروطيا نمطيا قليل الارتفاع. وبعد طرد الغاز الزائد من غرفة الصهارة تحت السطح عادة تسيل الحمم من فوهة المخروط الرمادى وتتدفق حول المنحدر.

(*) جُدَّة موازية sill, sheet صخر نارى متدخل لوى الشكل مواز لطبقات الصخور التى يخترقها.
(معجم الجيولوجيا - المترجم)

(**) جدة قاطعة، قاطع dike جسم صخرى منضدى وأصل نارى فى العادة ويخترق الطبقات الصخرية المحيطة. (ما هى الجيولوجيا - المترجم)

وفى يوم ٢٠ فبراير ١٩٤٣ وُلِدَ بركان جديد عندما ثار منفجرا بعنف فى مزرعة بالقرب من قرية باريكوتين فى المكسيك (الشكل ٦-١١). وثار البركان لمدة ٩ سنوات بانيا مخروطا رماديا بركانيا كبيرا. ودفنت الحمم وحطام الصخور الفتاتية الحرارية المتدفقة حوالى ١٠٠ ميل مربع من الأرض ودمرت مدن باريكوتين وسان جوان دى بارانجاريكوتيرو.

وعندما توقفت الثورة ربما انسدت قناة التوصيل المركزية بالصهارة المتجمدة الصلبة. فإذا كان البركان مكونا فى معظمه من حطام الصخور الفتاتية الحرارية الضعيفة مثل مخروط الرماد البركانى، فإن التحات يمكن أن يزيل المادة الهشة من مخروط البركان تاركا الصخور المقاومة من قناة التوصيل قائمة عالية كعنق البركان (الشكل ٦-١٢).

البراكين المتطابقة (من الأنديستى حتى الريوليتى)

والبراكين المتطابقة (ذات الطبقات) أو البراكين المركبة عادة تكون منحدرية الأجناب، والقمم البركانية المتناسقة المبنية من طبقات متبادلة من حطام الصخور الفتاتية الحرارية والتي تتوجهها بالتعاقب تدفقات من حمم عالية اللزوجة من الأنديسايت والريولايت تتصلب لتكون كبسولات وقائية. وبعض الجبال الأرضية الفائقة الجمال براكين متطابقة مثل جبل فيوجى فى اليابان وجبل كيليمنجارو فى تنزانيا وجبل شاستا فى كاليفورنيا وجبل رينير فى واشنطن وبركان شيشالوين فى ألاسكا (الشكل ٦-١٣).

البراكين الدرعية (بازلتية)

تكونت معظم صخور البراكين الدرعية من تصلب تدفقات الحمم القليلة اللزوجة من مركبات البازلت. ونظرا لسيولة هذه الحمم المتدفقة فإنها تسير لمسافات كبيرة مثل صب لبن وبيض الفطيرة فوق صاج الخبيز. وكل دفقة من البازلت تبرد لتشكل طبقة

صخور بركانية رقيقة نسبيا ومائلة. وتبرد الآلاف من هذه الدفقات من الحمم فوق بعضها عبر زمن طويل لتبنى بركانا كبيرا. وللبركان الدرعى عرض كبير مقارنة بارتفاعه؛ بينما البركان المركب له ارتفاع كبير مقارنة بعرضه (الشكل ٦-١٤).

وقد تكون للبراكين الدرعية أحجام هائلة مثل تلك التى كُوت جزر هاواى. فعادة ما تنور من نطاقات شقوق خطية تفتح على أجنابه اللطيفة الانحدار.

نماذج للثورات البركانية

تُصنّف المظاهر المختلفة لنماذج الصهارة المتعددة بأسلوب الثورة للبراكين الفردية (الشكل ٦-١٥). ويجرى هذا التصنيف لأغراض عامة؛ فكل بركان يختلف فى مظهر ثورته على مر الزمان.

وأكثر الثورات أمنا هو **النموذج الأيسلاندى**، حيث يتسرب الغاز بسهولة؛ وتشبه دفقات الحمم القليلة للزوجة الماء كثيرا. وتسيل الحمم من الشروخ لمسافة ٢٥ كم (١٦ ميلا) وتتراكم دفقات الحمم بمرور الزمن لتكوّن هضابا من طبقات من الصخور البركانية الأفقية تقريبا.

وتشبه ثورات **نموذج هاواى** مثيلاتها الأيسلاندية. ففيها تدفقات بازلتية آمنة تسود فيها الحمم القليلة للزوجة، ولكن بمرور الزمان، تبنى قمما عالية مقببة للجبال مثل لوناوا وموناكيا.

وتظهر آثار زيادة لزوجة الصهارة على سلسلة مظاهر الانفجار الواضحة فى جنوب غربى إيطاليا على الشاطئ وقبالتة. فتزيد قوة الانفجار من سترومبولى إلى فولكانو حتى فيزوف. **فنموذج ثورة سترومبولى** يمثله بركان سترومبولى الذى ظل ثائرا تقريبا لعدة قرون. فبحيرة الحمم المركزية تتوجها قشرة باردة. ويتجمع ضغط الغاز سريعا تحت القشرة، وتحدث ثورات صغيرة لفترات قليلة كل ساعة. وحتى دورة المد تمزق قشرة بحيرة الحمم بحيث تنور الثورات. وعلى أية حال، ليست ثورات سترومبولى قوية بالقدر الكافى الذى يكسر مخروط البركان، بينما النماذج التالية قد تنسف الجبل البركانى.

وثورات **النموذج الفولكاني** وجميع البراكين استمدت اسمها من فولكان إله النار وحداد الآلهة عند الرومان. والنموذج الأصلي للبركان يقع في جزر أيوليا في البحر التيراني شمالي صقلية. فالنار والدخان المنبعثان من قمة الجبل تذكر المشاهدين بمدخنة ورشة حدادة فولكان، ولهذا سمي الجبل فولكانو. وتتنوع ثورات النموذج الفولكاني من الحمم الغليظة القوام العالية اللزوجة وكتل المواد الصخرية الفتاتية الحرارية التي يقذفها البركان. وثورات النموذج الفولكاني شائعة كذلك في المراحل الأولى لثورات البراكين الأخرى حيث تفتح الطريق للثورات الكبرى.

وأشد الانفجارات وأعنفها ثورة **النموذج الفيزوفي** حيث ترتفع لزوجة الصهارة ويزيد محتواها من الغازات المحتبسة. وتغطي المادة المقذوفة أثناء الثورة مساحات واسعة. وأعنف الثورات في النموذج الفيزوفي هي ثورة **النموذج البلايني** الذي سمي باسم بلايني الأب تخليداً لذكرى ملاحظاته على ثورة بركان عام ٧٩ ميلادية. والنموذج البلايني مرحلة نهائية شائعة في سلسلة الثورات الكبرى. فالطريق الآن مفتوح والثورات العمودية التي لا يصدقها العقل من الغازات تقذف رمادا وحطاما من الصخر الزجاجي لعدة أميال في الغلاف الجوي.

وتستمد ثورات **النموذج البيلي** اسمها من جبل بيلي في جزيرة مارتينيك في البحر الكاريبي. وفي هذا النموذج من الثورة تكون الصهارة عالية اللزوجة والتدفق صعبا لدرجة أن حلق البركان ربما تسده الصهارة اللزجة ويتصرف ضغط الغاز بقذف قمة البركان أو جانبه.

حاشية جانبية: معدل الانفجارات البركانية

كم يتكرر حدوث الثورات البركانية الكبيرة؟ في المتوسط حوالي مرة كل ثلاث سنوات طبقا لدليل قوة انفجار البراكين. وبمزج السجل التاريخي بالمعلومات الجيولوجية المخزنة في سجل الصخور؛ نرى أن ثورات البراكين الكبرى التي حدثت بين عامي ١٥٠٠ حتى ١٩٨٠ تم تقديرها بحسب الحجم. وتشمل عناصر التقييم: (١) حجم

المادة المثارة، (٢) ارتفاع عامود الثورة، (٣) مدة استمرار الانفجار الثوري الكبير (الجدول ٦-٧). وخلال الفترة التي تمت دراستها البالغة ٤٨١ عاما حدثت ١٢٦ ثورة كبرى مع تزايد العدد في الوقت الحديث. ويرجع السبب في زيادة الثورات الكبرى في القرنين التاسع عشر والعشرين لتطور التبليغ عن الأحداث وليس للزيادة الفعلية في حدوث الثورات الكبيرة.

ويتراوح معدل قوة الانفجارات البركانية ما بين صفر وثمانية. وكان أكبر بركان وقع منذ عام ١٥٠٠ ميلادية وقوته الانفجارية ٧ في تمبورا في إندونيسيا عام ٨١٥. وتسببت هذه الثورة في برودة مناخ العالم في السنة التالية له (انظر الفصل التاسع). وحدثت أربعة أحداث بقوة انفجارية ٦ في فترة زمنية طولها ٤٨٠ سنة شاملة ثورة كراكاتاو كذلك في إندونيسيا في عام ١٨٨٣ (وسيأتي وصفها فيما بعد في هذا الفصل). والأحداث البركانية ذات القوة الانفجارية العالية هي التي حدثت بنماذج قيزوف وبيلي وبلايني.

نموذج بركان آيسلاند

تدفقات الحمم في ١٩٧٣. تدل قصة آيسلاند الحديثة على أن الناس يستطيعون العيش في رخاء وسعادة بعد ثورة البركان البازلتية. وتوضح ثورات ١٠٧٣ التي حدثت في جزيرة هايمي الواقعة على الساحل الجنوبي لآيسلاند الطبيعة الآمنة لهذه الثورات. وقد بنيت مدينة فستمانيار بجوار ميناء الصيد الأول في آيسلاند. والميناء الآمن هو نفسه هبة البراكين؛ فقد تكون بين تدفقات حممية قديمة. وفي يوم ٢٣ يناير ١٩٧٣ انشق شرخ على بعد ١ كم (٣٣٠٠ قدم) من مدينة يسكنها ٥٣٠٠ نسمة (الشكل ٦-١٦). وبحلول باكورة يوليو كانت ثورة البركان تقذف ٢٣٠ مليون متر مكعب من الحمم (الشكل ٦-١٧)، و٢٦ مليون متر مكعب من مواد الصخور الفتاتية الحرارية. وزادت تدفقات الحمم من حجم الجزيرة بنسبة ٢٠٪. وتسربت الغازات أثناء سلسلة الثورات، بخلاف بخار الماء، وأغلبها من غازات ثاني أكسيد الكربون وكميات أقل من الإيدروجين وأول أكسيد الكربون والميثان CH_4 . والوفاة الوحيدة التي حدثت كانت لشخص اختنق في مبنى امتلأ بالغاز.

وبدأت تدفقات الحمم المبكرة على هايمى تملأ الميناء وتدمر حوالى ٣٠٠ مبنى ودفنت الصخور الفتاتية الحرارية ٧٠ مبنى آخر. ولكن المواطنين فى آيسلاند تغلبوا على الصعاب. فكسحوا بالجرافات المواد الصخرية الفتاتية الحرارية لإنشاء حواجز حولت مجرى التدفقات التالية من الحمم حتى سيطروا عليها كما سيطروا على ممرات تدفق الغازات البركانية المتكثفة. ولإنقاذ مينائهم وسبل معيشتهم الاقتصادية رش المواطنون الآيسلنديون مياه البحر فوق تدفقات الحمم، مما أدى إلى سرعة تبريدها وتجمدها على شكل حوائط اضطرت الحمم إلى التدفق بعيدا فى اتجاهات أخرى (الشكل ٦-١٨). وهذا العمل منع الميناء من الامتلاء والقفل إذ اتسع الميناء الآن وزاد حجمه وصار أفضل مما كان عليه قبل ثورة البركان فى ١٩٧٣ (الشكل ٦-١٦).

وعندما توقفت الثورات أقام الناس خط أنابيب ليصب الماء على الكتلة التى بلغ سمكها ١٠٠ متر (٣٢٥ قدما) من الحمم البطيئة التبريد. وأقيمت مضخات ترجيع لسحب الماء الذى بلغت درجة حرارته ١٩٦° ف وضخه إلى المدينة حيث استخدموه فى تدفئة المنازل. وليس من الضرورى أن تكون الثورات البركانية البازلتية فتاكة. فالناس يمكنهم أن يتعايشوا مع البراكين فى وئام مع تحمل بعض المضايقات.

نموذج بركان هاواى

وثورات نموذج بركان هاواى، مثل جميع ثورات البراكين تقريبا، فتسبقها عادة سلسلة من الزلازل حيث يتشقق الصخر ويتحرك مفسحا الطريق أمام الصهارة المنتفخة. وعندما تمزق هذه الشقوق سطح الأرض يقل الضغط فجأة فتسمح للغازات بالتسرب من قمة كتلة الصهارة. وقد يؤدى هذا إلى وجود ستارة من النار حيث تشكل نافورات الغازات المتسربة خطوطا من نافورات الحمم يبلغ ارتفاعها أكثر من ٣٠٠ متر (١٠٠٠ قدم). والسائد كذلك فى ثورات هاواى تكوين مخروط منخفض ذى نافورات عالية من الصهارة. وبعد تسرب الغاز مبدئيا تتدفق فيضانات كبيرة من الحمم البازلتية من الشروخ وتسيل على منحدرات الجبال على شكل أنهار حمراء ساخنة (الشكل ٦-١٩). وتستمر هذه الثورات من بضعة أيام حتى عام أو يزيد. ورغم أن قليلا من

الأرواح تزهب في براكين هاواي، فإن تدفقات الحمم الجارفة تحيط بالمباني وتحولها إلى رماد وتدفن الطرق السريعة وتسبب انخفاضا في قيمة البيوت والممتلكات بعد التدفقات الأخيرة وتؤدي ببعض ملاك العقارات إلى أن يفقدوا صوابهم.

ومن البراكين في هاواي القادرة على الثورة بركان هيليكالا في جزيرة ماوي، والبراكين الخمسة التي صنعت جزيرة هاواي، بالإضافة إلى بركان لويهى المتنامى الذى لا يزال تحت سطح البحر. وفى ٢٠٠ سنة الماضية ثارت ثلاثة براكين فقط فى أقصى الجنوب فى جزيرة هاواي وتحت سطح البحر فى لويهى. وتبعد الجزيرة المرتقبة لويهى حوالى ٣٠ كم (١٩ ميلا) قبالة الشاطئ الجنوبى الشرقى لهاواي. وتبلغ قمة لويهى حوالى ٩٦٩ مترا (٣١٧٥ قدما) تحت سطح البحر ويكبت ضغط ماء المحيط الذى يعلوها القوة الانفجارية للثورة حتى الآن، ولكن البركان يتنامى فى الارتفاع بطريقة عجيبة.

نموذج بركان فيزوف

حدث بركان فيزوف فى عام ٧٩ ميلادية. وربما كان بركان فيزوف أشهر البراكين على الإطلاق، وأشهر ثوراته ما وقع فى عام ٧٩ ميلادية. وحينئذ دفنت مدينتا بومبى وهيركيولينيوم وراحتا طى النسيان لمدة تزيد على ١,٥٠٠ عام. بدأ بركان فيزوف فى الثورة تحت سطح الماء فى خليج نابولى. وتزايد حجمه كثيرا وملاً حطامه الصخرى الماء الذى كان يفصله عن اليابسة فى إيطاليا (الشكل ٦-٢٠). فما سبب ثورة البركان فى فيزوف والبراكين المجاورة فى سترومبولى وفولكانو وإيتنا وغيرها؟ انضواء قاع البحر المتوسط تحت أوروبا ليفسح المجال لأفريقيا فى التحرك شمالا.

وصل التحذير المسبق للثورة فى ٥ فبراير عام ٦٢ ميلادية، عندما دمر زلزال كبير معظم بومبى وسبب خسائر فادحة فى هيركيولينيوم ونيابوليس (نابولى). وشاع حدوث الزلازل رغم أنها لم تكن كبيرة فى ١٧ سنة التالية. وكانت بومبى مركزا تجاريا لعدة قرون. وفى عام ٧٩ ميلادية كان تعدادها يبلغ ٢٠,٠٠٠ نسمة؛ منهم ٨,٠٠٠ من الرقيق. وصفها روبيرت إيثين قائلا:

كانت مدينة بومبيى مدينة متوسطة يسكنها قوم متوسطون؛ وقد حققت براعة فائقة ومرت بسلام فى ركب التاريخ الهادئ، وليت الكارثة المفاجئة بثورة البركان لم تمحها من عالم الأحياء.

كان يوم ٢٤ أغسطس عام ٧٩ ميلادية يوما صيفيا حارا، ولكن بركان فيزوف بدأ يثور فأصبح اليوم أشد حرارة (انظر الشكل ٦-٢١ كأحد الأمثلة الحديثة). قذف بركان فيزوف ٤ كم^٣ من المواد الصخرية الفتاتية الحرارية. ودمر حوالى نصف المخروط البركانى القديم. وكانت بومبيى تقع تحت الريح فدفنت تحت فتات الزجاج الخفاف الذى تراكم على عمق ٣ أمتار (١٠ أقدام) (الشكل ٦-٢٠). ولم يكن الموت سريعا دائما؛ إذ وجدت بعض الجثث داخل بيوتها فوق قمة طبقات سميكة من الزجاج الخفاف، مما يدل على أن الناس ظلت تقاوم لعدة ساعات أملا فى النجاة من الموت. وقد أمسكت أيديهم بقطع من القماش فوق أفواههم وهم يحاولون اجتناب الاختناق من الغازات التى كانت تتسرب من الزجاج الخفاف (الشكل ٦-٢٢).

ووجدَ البعض الآخر بالقرب من البحر؛ إذ تيسر لهم الوقت للهروب من الزجاج الخفاف المتساقط، ولكن التدفقات من الصخور الفتاتية الحرارية المليئة بالغازات الساخنة والقريبة من الأرض أجهزت عليهم (انظر الشكل ٦-٢٣ كمثال حديث). ومات ٤٠٠٠ شخص. ودمر كذلك معظم مدينة ستابياى الأبعد منها. وهنا مات بلاينى الأب؛ إذ تحطم القلب الضعيف للرجل البدين تحت ضغط أكثر التدفقات احتواء للغاز وأبعدها امتدادا. وكان عمره ٥٦ عاما. وتسمى الثورات العمودية العملاقة بلاينية تخليدا لاسمه (الشكل ٦-١٥).

وعقب ثورة البركان المحملة بالزجاج الخفاف، دخل البركان مرحلة ثانية قذف فيها أحجاما هائلة من الرماد إلى ارتفاع ٣٢ كم (٢٠ ميلا) فى الغلاف الجوى (مرحلة بلاينى). وتفاوت ارتفاع عامود الرماد بتفاوت طاقة البركان بين القوة والضعف. وفى فترات الضعف ينهار اضطراريا عامود الرماد الرأسى الكبير باعثا موجات ودفقات من الصخور الفتاتية الحرارية على جوانب البركان المنحدرة. ودفنت بومبيى تحت حطام الصخور الفتاتية الحرارية البالغ عمقها ٦ حتى ٧ أقدام. وكانت تلك التدفقات هى التى قضت على البقية الباقية من الأحياء فى بومبيى.

وأضر الرماد الناعم الذى هبط من ارتفاعات شاهقة بأقاليم كثيرة. وكان بلاينى الابن فى مدينة ميزينوم حين كتب يقول:

والآن أقبل الرماد، ولكنه كان فى أول الأمر نادرا. واستدرت حولى. وكان وراغا دخان كثيف كئيب، ينتشر فوق الأرض كالفيضان فى أعقابنا. وقلت لأمى: «دعينا نهرب إلى الحقول ونحن لا نزال نرى الطريق». فقد خشيت أن تسحقنا أقدام عامة الناس وهم يتزاحمون على الطريق فى الظلام الدامس. ولم نكد نوافق حتى داهمنا الليل - ليس ليلا بلا قمر أو تعتيما بفعل السحب، بل ظلام كظلام غرفة محكمة القفل بلا أضواء. ولم نسمع إلا صراخ النساء ونحيب الأطفال وصياح الرجال. فالبعض ينادى على آبائهم وأمهاتهم والآخرين ينادون على أطفالهم وغيرهم يبحثون عن زوجاتهم - لا يعرف بعضهم بعضا إلا بالأصوات. وبكى بعضهم على نفسه والبعض الآخر على نويهم. وكان هناك أناس اشتد خوفهم من الموت حتى صاروا يتمنونه. ورفع الكثيرون أكف الضراعة إلى آلهتهم، وكان هذا هو آخر الليالى الخالدة فى العالم.

وثورة بلاينى لا تقذف رمادا إلى الارتفاعات العالية فقط؛ بل تقذف غازات بركانية أيضا. ويمكن أن يقذف الماء على هيئة بخار غزير إلى أعلا فى الغلاف الجوى حيث يبرد ثم يتكثف ثم يسقط على شكل أمطار غزيرة. ولبعض الثورات البركانية طقس خاص بها. فالمطر المتساقط فوق أكوام سميكة من حطام الصخور الفتاتية الحرارية المتراكمة بدون استقرار على الأجانب الشديدة الانحدار للبركان فيزوف يحدث تدفقات طينية بركانية سميكة (الشكل ٦-٢٤). وهذه الكتل المتحركة بفعل الجاذبية من الحطام البركانى الطينى تعرف بالتدفقات الطينية التى يسميها الإندونيسيون لاهار(*)

(*) اللاهار (معربة من الإندونيسية) lahar الانسياب الوحلى البركانى. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

(انظر الشكل ٦-٢٥ كمثال حديث). ودفنت التدفقات الطينية البركانية مدينة هيركيولينيوم فى طبقة عمقها ٢٠ مترا (٦٥ قدما) من الزجاج الخفاف والرماد وفتات الصخور البركانية التى اختلطت كلها فى كتلة بلا نظام. وعلى أية حال، كان هذا فى المرحلة الثانية من الثورة حيث استغل معظم الناس اليوم أو اليومين السابقين للهجرة خارج المنطقة؛ ولهذا لم تكن الخسائر تقريبا مثل خسائر بومبيى. والآن، تقع مدينة إيركولانو فوق تدفقات الطين التى دفنت هيركيولينيوم. ولم يع الناس هنا دروس التاريخ.

وتقدم لنا توقيتات الثورات الكبرى لفيزوف دروسا مهمة. والواضح أن فيزوف لم يثر ثورة كبرى منذ القرن السابع قبل الميلاد حتى عام ٦٩ ميلادية؛ إذ عاش الناس ٧٠٠ سنة على الأقل بعيدا عن الخوف وينعمون بالتربة الزراعية الخصبة فى فيزوف. وبعد عام ٧٩ ميلادية حدثت ثورات كثيرة متعددة فى الأعوام: ٢٠٣ و ٤٧٢ (غطى الرماد كثيرا من بقاع أوروبا) و ٥١٢ و ٦٨٣ و ٩٩٣ و ١٠٣٦ (أول تدفقات حممية فى الزمن التاريخى) و ١٠٤٩ و ١١٣٨ و ١١٣٩. ثم مرت ٥٠٠ سنة أخرى تقريبا؛ وهو زمن يكفى لنسيان الماضى وإعادة احتلال الجبل. ولكن فى عام ١٦٣١ صب فيزوف بسرعة كميات كبيرة من الحمم التى دمرت ست مدن؛ وخربت التدفقات الطينية تسع مدن أخرى، ومات حوالى ٤٠٠٠ نسمة. والفترات الزمنية الطويلة للهدوء النسبى خلال ٢٧٠٠ سنة الأخيرة - بمعدل بركان واحد كل ٧٠٠ عام وآخر كل حوالى ٥٠٠ سنة - تبدو أوقاتا طويلة بالنسبة لزمن الحياة القصير الذى يعيشه الإنسان المتعطش للأرض، وهى أوقات مبرمجة للبركان النشط. ويؤدى القصور فى تقدير الزمن الذى يمضى بين الثورات إلى نشاط العديد من البراكين التى اعتبرها الإنسان خامدة بالخطأ.

ومنذ عام ١٦٣١ والثورات فى معظمها من نموذج سترومبولى، ولهذا فهى ليست شديدة الخطورة. وهناك ١٨ دورة لثورات ما بين عامى ١٦٣١ و ١٩٤٤؛ استمرت الثورة ما بين سنتين حتى ٣٧ سنة مع فترات هدوء تتراوح ما بين ٥ , ٠ سنة حتى ٦, ٨ سنوات. ومنذ عام ١٩٤٤ وفيزوف هادئ. فهل تُعدُّ هذه الفترة من الهدوء المسرح لثورة كبيرة لبركان من نموذج فيزوف/بلاينى؟ ليس الأمر مؤكدا، ولكن فلنتدبر أن أكثر من ثلاثة ملايين نسمة يعيشون الآن على مرمى فيزوف منهم حوالى مليون يعيشون على سفوح فولكانو.

الكالديرات المنهارة

والكالديرات(*) المنهارة نمط آخر من أنماط النشاط البركانى. ولهذه العملية آثار كبيرة فى جميع أنحاء العالم.

بحيرة كريتر (ماونت مازاما) فى أوريجون

تعتبر بحيرة كريتر إحدى الجواهر فى نظام المنتزه الوطنى. فمأوها الأزرق العذب الرقراق آسن بين حواف عالية تشبه الحوض شبه المستدير. وقطر بحيرة كريتر حوالى ٩,٥ كم (٦ أميال) وعمقها ٥٨٩ مترا (١,٩٢٢ قدما) (الشكل ٦-٢٦).

ومنذ عدة آلاف من السنين وجبل مازاما يبلغ ارتفاعه حوالى ٣٦٦٠ مترا (١٢٠٠٠ قدم) (الشكل ٦-٢٧ أ). ومنذ حوالى ٧,٦٧٩ عاما بدأت ثورة كبرى تقذف صهارة لزجة من الجبل على شكل زجاج خفاف مملوء بفقايع الغاز والرماد (الشكل ٦-٢٧ ب). وكانت درجة لزوجة الصهارة عالية إلى درجة تمنعها من التدفق سائلة، ولهذا ثارت على شكل صخور فتاتية حرارية متدفقة وأعمدة بلاينى. وكلما زاد حجم المادة المقنوفة غطى حطامها كثيرا من منطقة الشمال الغربى المطل على المحيط الهادى وجزءا من كندا بطبقة سميكة من الرماد المتميز الذى يسهل التعرف على خواصه بما فيها اكتشاف وجوده فى طبقة الثلج فى مثلجة جرينلاند التى تكونت فى موسم سقوط الجليد فى عام ٦٧٧، قبل الميلاد. وقذف البركان حوالى ٤٠ كم^٣ من الصهارة. وتركت عملية إخلاء هذا الحجم الهائل من الصهارة فجوة هائلة تحت السطح أدت إلى إضعاف الجبل وانهار قمته فى غرفة الصهارة المفرغة (الشكل ٦-٢٧ ج). وأدى الانهيار إلى إيجاد كالديرا، وهى منخفض عظيم يزيد حجمه عدة مرات عن قناة تصريف البركان. وقد جمعت الكالديرا الماء لبحيرة كريتر واحتوت على المخروط

(*) كالديرا caldera منخفض عظيم فى أعلى البركان يحل محل القمة التى نسفها البركان فى أثناء أحد انفجاراته الشديدة، وقد يبلغ قطر الكالديرا عشرة كيلو مترات أو أكثر. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

التابع المتنامى البالغ من العمر ١٠٠٠ سنة المسمى جزيرة ويزارد (الشكلان ٦-٢٧ د و ٦-٢٨ أ).

وأضرت ثورة جبل مازاما بالهنود الأمريكيين كما يتضح ذلك من الأحذية والمشغولات الصناعية التى وجدت تحت طبقات الرماد المتميزة. فماذا تمخضت عنه أحداث انهيار الكالديرا فى مناطق أخرى؟

كراكاتاو فى إندونيسيا فى ١٨٨٣

كراكاتاو (كراكاتوا) الآن عبارة عن مجموعة جزر إندونيسية فى مضيق ساندا بين سوماطرة وجاوة. وهى جزء من قوس البراكين الكبير الذى تكوّن فوق لوح أستراليا - الهند المنضوى. وهى بركان مخروطى كبير ظهر فى المحيط ثم انهار. ولا يزال مخططها الكبير متميزا (الشكل ٦-٢٨ ب).

ومن حطام الانهيار السابق ارتفع نشاط الصهارة إلى أعلى خلال القرن السابع عشر. وبعد قرنين من الخمود استأنف البركان نشاطه نى يوم ٢٠ مايو عام ١٨٨٣. وبحلول شهر أغسطس ١٨٨٣ حدثت ثورات فيزوفية متوسطة الحجم من حوالى عشر منافذ. فهل وفرت الأميال من المحيط المتداخل الحماية للناس من ثورات البراكين؟ ففى أحد الانفجارات المعروفة تدفقت الصخور الفتاتية الحرارية المشبعة بالغازات الحارة واندفعت فوق سطح البحر لمسافة ٤٠ كم (٢٥ ميلا) حتى وصلت إلى مدينة كاتيمبانج الساحلية فى سوماطرة حيث قتلت حوالى ٢٠٠٠ نسمة حرقا.

وفى الساعة ٢ من مساء يوم ٢٦ أغسطس دفع انفجار كبير الرماد والزجاج الخفاف إلى ارتفاع ٢٨ كم (١٧ ميلا) عندما انهار أحد المخروطات فى البحر، وأحدث موجات سنامية ضخمة. وكانت الثورات ضوضائية صاخبة بحيث استحال النوم ليلا فى غربى جاوة، بما فيه العاصمة جاكارتا (المسماة باتافيا فيما بعد). وعمت الساعات المبكرة من صباح يوم ٢٧ أغسطس ثورات تصم الأذان وانهيارات بركانية أخرى دفعت المزيد من الموجات السنامية التى دمرت القرى الساحلية. وتحول النهار إلى ليل حالك

الظلمة من السحب الكثيفة من الرماد البركاني. وفي الساعة ١٠ صباحا ضرب انفجار مذهل سحابة متوهجة من الزجاج الخفاف المتوهج والرماد ودفعها إلى ارتفاع ٨٠ كم (٥٠ ميلا) في الغلاف الجوي. وسمع هذا الانفجار بوضوح على بعد ٥٠٠٠ كم (٣٠٠٠ ميل).

وفي الساعة ١٠ صباحا دفع الانهيار البركاني موجات سنامية إلى أعلى من ٢٥ مترا (١١٥ قدما) لتكتسح الخلجان على طول سواحل جاوة وسوماطرة المنخفضة. وتسببت الثورات البركانية في موجات سنامية دمرت ٢٩٥ مدينة ودهمت وأغرقت عددا يقدر بحوالى ٣٦٠٠٠ نسمة. وقذفت سلسلة الثورات ١٨ كم^٢ من المواد (٩٥٪ منها صحارة جديدة و٥٪ صخور قديمة منسحقة)، محدثا ثوبا تحت سطح الأرض استوعب ٥٣ كم^٢ من الأرض التي انهارت فيه (الشكل ٦-٢٨ ب). وحيث ارتفعت جزر بمقدار ٤٥٠ مترا (١٤٧٦ قدما)، يوجد الآن ثقب في قاع البحر عمقه ٢٧٥ مترا (٩٠٠ قدما).

وكانت كمية الصحارة المتدفقة في كراكاتاو في عام ١٨٨٣ أقل من نصف ما تدفق في جبل مازاما. ولكن كراكاتاو انهارت في البحر محدثة أمواجا عاتية.

وفي عام ١٩٢٧ قفز من جديد مخروط بركاني في كراكاتاو؛ وسمى آناك كراكاتاو أي «طفل كراكاتاو»، الذي لا يزال ينمو (الشكل ٦-٢٨ ب). ولا تزال نسمع الكثير من كراكاتاو.

سانتوريني وقارة أطلنطيس المفقودة

وثيرا هي أكبر جزيرة في المجموعة الدائرية التي تميز البقايا الغارقة من بركان سانتوريني الكبير في بحر إيجه (الشكل ٦-٢٨ ج). فثيرا اليوم واحدة من أهم المناطق الشعبية السياحية في الجزر الإغريقية (الشكل ٦-٢٩)، ولكن في حوالى عام ١٦٢٨ قبل الميلاد، وقعت في سانتوريني سلسلة ثورات انفجارية دفنت تحتها مدينة أكروتيرى في ثيرا وهي مدينة العصر البرونزي إلى عمق ٧٠ مترا (٢٣٠ قدما) في أربع مراحل مميزة.

١٦٢٨ قبل الميلاد دفنت تحتها مدينة أكروتيرى في ثيرا

فى المرحلة الأولى: نشاط بركانى تمثل فى طبقة سمكها ٦ أمتار (٢٠ قدما) من الزجاج الخفاف الذى ترسب من الهواء والذى دفن المباني واحتفظ بها وبالمشغولات الفنية فى أكروتيرى (الشكل ٦-٣٠). ويستخلص الزجاج الخفاف عندما لا يكون هناك ماء يتفاعل مع الصهارة، ولهذا فلا بد أن تكون الثورة من فوق مستوى سطح البحر. وهبوط الزجاج الخفاف لا يشترط أن يكون فتاكا، فهو يعطى الفرصة دائما للعقلاء ليعوا الإنذار ويهجروا المكان. وعندما بدأت الثورات التقط معظم أهالى أركوتيرى ما خف حملة وغلا ثمنه من أموالهم ورحلوا. أما جميع الشجعان الذين لم يخشوا البركان فقد ظلوا فى منازلهم وأموالهم حتى ماتوا فى المرحلة الثانية.

وفى المرحلة الثانية: تكونت رواسب سمكها عدة أمتار من كثرة الماء الساخن السريع التدفق الذى ملأ المنطقة. حدث هذا عندما وصل ماء البحر إلى غرفة الصهارة المطروحة، وتسرب على شكل انفجارات بخارية مدمرة.

وفى المرحلة الثالثة: ترسبت كتل من الصخور الفتاتية الحرارية والمختلطة بالرماد والزجاج الخفاف وفتات الصخور الكبيرة التى تساقطت من الهواء وتراكت فى طبقة سمكها ٥٦ مترا (١٨٠ قدما). وهذا المخطط الهائل حدث عند انهيار المخروطات البركانية فى وسط سانتورينى.

وفى المرحلة الرابعة: كوّنت الرواسب طبقات من الرماد وشذرات الصخور الصغيرة التى تكونت أثناء التسرب الأخير للغازات من كتلة الصهارة عندما تجشأت وخرجت متعلقة بالأرض على شكل سحببات غازية ساخنة. وحيث كانت هناك جزيرة كبيرة تكونت من عدة مخروطات بركانية، توجد الآن كالديرا ضخمة عمقها ٣٩٠ مترا (١,٢٨٠ قدما) تحت مستوى سطح البحر. فما هى آثار هذه الثورة على عالم البحر المتوسط؟

كانت أكروتيرى مدينة مهمة، إذ كانت جزءا من الحضارة المينوية وموطنها كريت؛ حيث كانت للمينويين حضارة متطورة. وفى عام ١٦٢٨ قبل الميلاد كانت توجد فى أكروتيرى منازل ذات ثلاثة طوابق وشوارع مرصوفة وصرف صحى أسفلها محدد بالأحجار، وصناعة متطورة للسيراميك والمشغولات الذهبية؛ وكانت لها تجارة

مع جيرانها الأقل منها تقدما مثل قبرص وسوريا ومصر والإغريق؛ وفيها اللوحات الجصية الملونة التي تدل على ثرائهم ورخاء معيشتهم. وباختصار، كان لهؤلاء المينويين مستوى معيشة أرقى من كثير من الشعوب التي تعيش في هذا العالم اليوم منذ ٣٦٠٠ سنة.

والانهيار المفاجئ في هذا الجزء من الحضارة المينوية لابد أن يكون ترك انطبعا أزيلا لا يمحي في أذهان الشعوب في ذلك الوقت. والحقيقة أن هذا ما أنبأنا به أفلاطون عندما ذكر اختفاء إمبراطورية جزيرة أتلانتيس، التي «اختفت في يوم وليلة تحت سطح البحر» بعد زلازل عنيفة وفيضانات جارفة. عاش أفلاطون في بلاد الإغريق من عام ٤٢٧ حتى عام ٣٤٧ قبل الميلاد، وذكر القصة في حوار مع المؤرخ كريتياس الذي روى قصة زيارة سولون(*) إلى مصر حيث تعلم رواية أتلانتيس من الرهبان المصريين في تاريخهم الشفوي. وبعد الحدث بحوالي ١٢٠٠ سنة كتب أفلاطون وصفا دقيقا ومعقولا لانهيار إحدى الكالديرات بسبب الزلازل والفيضانات (موجات عاتية أو سنامية)، ولغرق إحدى الكتل الأرضية تحت سطح البحر في يوم وليلة.

وتبدو الثورة البركانية وانهيار الكالديرة في البحر عند سانتوريني مشابهة لأحداث كاركاتاو بعد ٣٥٠٠ سنة فيما عدا كبر حجم حادثة سانتوريني؛ إذ يقدر حجم المقذوفات من ثورة بركانها ٣٠ كم^٣ من صهارة الريولايت. انظر إلى خريطة إقليم بحر إيجه؛ فهو واحد من أغنى المناطق بالجزر في العالم. ولابد أن تكون للموجات السنامية آثار مدمرة على المدن الساحلية وعلى الشعوب، كما تركت انطباعات عميقة في نفوس الناجين من الهلاك الذين روى ذكرياتهم للأجيال اللاحقة. فرواية أفلاطون وحفائر(**) علماء الآثار وخبرات علماء البراكين تشير جميعها إلى قصة متناغمة بشكل ملحوظ.

(*) سولون Solon، رجل القانون الشهير في أثينا (٥٩٤ ق.م.) ورجل الدولة الإغريقي وأحد الحكماء السبعة في بلاد الإغريق. (معجم تشيمبرد- المترجم)

(**) الحفيرة: ما يحفر للكشف عن الآثار؛ جمع حفائر. (المعجم الوسيط- المترجم)

موجز

ترتفع بعض الحرارة الداخلية في الأرض إلى أعلى لتغلي الماء وتسيل الصخر وتتور على السطح على شكل فوارات(*) وبراكين. والصخر الساخن في الأعماق يرتفع بخاصية الطفو. وهذا الصخر قد يسيل ويصبح صهارة ذات حرارة زائدة، ويقل الضغط و/أو يزيد محتواها من الماء. وعندما تقترب الصهارة من السطح تتسرب الغازات من المحلول وتساعد على ثورة البركان. وسواء أثارت الصهارة بأمان أو بانفجار فإن ذلك يرجع إلى نموذج الصهارة. فَتَحَتْ أَحْوَاضَ المحيط تكون الصهارة في تركيبها بازلتية. وهذه الصهارات تحتوي على قليل من ثاني أكسيد السيليكون SiO_2 وعلى درجة حرارة عالية ولزوجة قليلة وتسرب سهل للغازات محدثة ثورات آمنة. وتحت القارات تكون الصهارات البازلتية المرتفعة ملوثة برواسب وصخور من القشرة الأرضية فتغير من تركيب الصهارة. والصهارات من الأنديسايت حتى الريولايت الناتجة تحتوي على نسبة عالية من ثاني أكسيد السيليكون. والحرارة المنخفضة نسبيا واللزوجة العالية مما يجعل الغازات تتسرب منها بصعوبة، محدثة ثورات متفجرة.

وعندما تصل الصهارة إلى السطح وتتسرب الغازات بسهولة تتدفق الحمم. وربما كونت تدفقات الحمم ذات اللزوجة القليلة براكين درعية اتساعها أكبر من ارتفاعها مثل هاواي. فإذا احتبست الغازات في الصهارة حدثت انفجارات ينتج عنها اندفاع حطام الصخور الفتاتية الحرارية المتوهجة في الهواء. وربما تكون مخروط بركاني منحدر حول فتحة تصريف البركان عند هبوط حطام الصخور الفتاتية الحرارية، مثل باريكيوتين. وتكون القمم البركانية العالية المتناسقة عادة براكين مركبة من تدفقات متبادلة من الحمم والمواد الصخرية الفتاتية الحرارية مثل جبل سانت هيلانة.

ودليل قوة انفجار البراكين يقيس حجم الثورات البركانية على مقياس يتدرج من صفر حتى ٨. وما بين عامي ١٥٠٠ و١٩٨١ حدثت ثورة واحدة قوتها ٧ (تامبورا في ١٨١٥) وأربعة ثورات قوتها ٦ على دليل قوة انفجار البراكين (مثل كراكاتاو في ١٨٨٣).

(*) فار الماء فورا، وفوراناً: خرج من الأرض وجرى متدفقا. الفؤارة: ما يفور. (المعجم الوسيط- المترجم)

وتتكون الكالديرات المنهارة عندما تكون غرفة الصهارة الفارغة جبلا ضعيفا لا يقوى على البقاء فتنهار قمته وتسقط (مثل بحيرة كريتير في أوريجون). فإذا سقطت القمة في المحيط أحدثت موجات سنامية عاتية (مثل سانتوريني في ١٦٢٨ قبل الميلاد؛ وكراكاتاو في ١٨٨٣).

مصطلحات للمذاكرة

aa	تدفق الحمم الخشنة
andesite	صخر بركاني - أنديسايت
basalt	صخر بركاني - بازلت
caldera	كالديرا - منخفض فوهة بركان
cinder cone	مخروط بركاني منحدر
composite volcano	بركان مركب
crystalization	التبلور
decompression melting	الذوبان بخفض الضغط
dike	جُدَّة قاطعة
fissure	شق - كسر - شرخ
geyser	فؤارة - نبع ماء حار
lahar	تدفق طيني
mineral	معدني
obsidian	زجاج بركاني داكن
pahoehoe	حمم حبلية ملساء
pillow lava	حمم وسادية
Plinian eruption	ثوران عمودي
plutonic rock	صخور بركانية جوفية
pore	ثقب
pumice	زجاج بركاني خفاف

pyroclastic	صخور فتاتية حرارية
pyroclastic flow	تدفق مقذوفات البراكين من الصخور الفتاتية
rhyolite	صخر بركانى- ريولايت
rock	صخر
shield volcano	بركان درعى
sill	جدة
spring	ينبوع
stratovolcano	مخروط بركانى مركب
viscosity	لزوجة
volcanic neck	عنق البركان
volcanic rock	صخر البركان

أسئلة للمراجعة

- ١ - ارسم مخططا و اشرح عليه تسلسل الأحداث التى تؤدى إلى ثورة الفوارة. اذكر فى إجابتك تغيرات الضغط والحرارة.
- ٢ - ما هى التغيرات فى الحرارة والضغط والمحتوى من الماء التى تسبب إسالة الصخر الساخن؟
- ٣ - ما هى العناصر الشائعة التى تتحد لتكوّن معظم الصخور النارية؟
- ٤ - ما هى المعادن التى تتحد لتكوّن معظم الصخور النارية؟
- ٥ - قارن بين أوجه الخلاف بين صهارة البازلت وصهارة الريولايت فيما يتعلق بالأتى: النسبة المئوية لثانى أكسيد السيليكون ودرجة الحرارة واللزوجة وطريقة تسرب الغاز.
- ٦ - ما الذى يقرر ما إذا كان النشاط البركانى سيكون تدفقات حممية أو ثورة من الصخور الفتاتية الحرارية؟

٧ - ارسم قطاعا مقطوعيا يوضح مخروطا بركانيا منحدرًا ذا عنق بركاني وجُدات قاطعة.

٨ - ارسم قطاعا مقطوعيا يوضح الفرق بين بركان درعى وبركان مركب.

٩ - ارسم قطاعا مقطوعيا يوضح ثورة بلايني.

١٠- اشرح العناصر التى تحدد دليل قوة الانفجار البركاني.

١١- ارسم قطاعا مقطوعيا و اشرح انهيار أحد البراكين المحيطية مثل كراكاتاو. وما هو فى العادة أكثر فتكا بالبشر فى هذه العملية؟

أسئلة لمزيد من التأمل

١ - لماذا يُقبل الناس على العودة إلى البراكين مثل فيزوف ويشيدون المدن الجديدة عليها؟

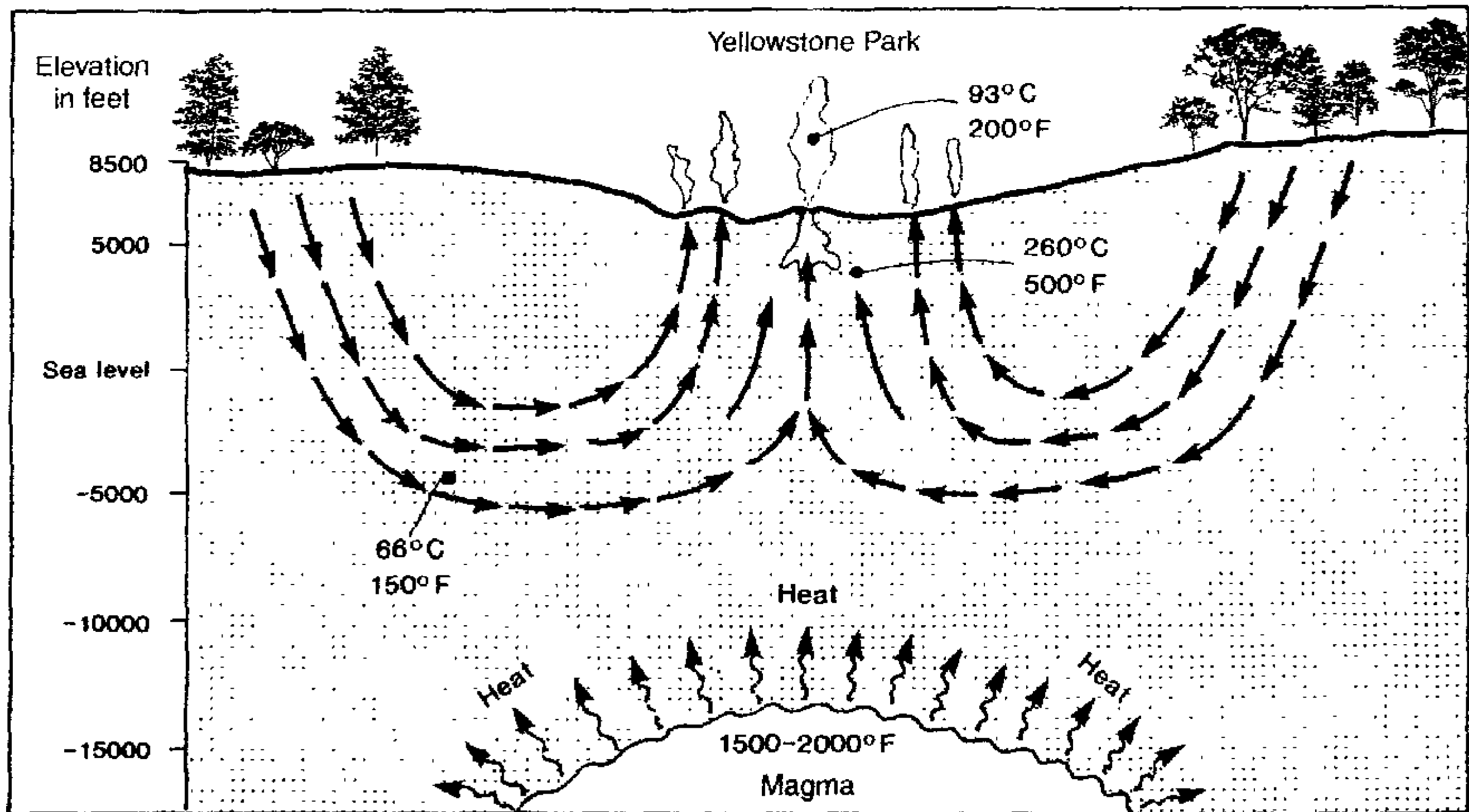
٢ - اذكر قائمة بالمظاهر الإيجابية للبراكين وظاهرتها الطبيعية.

٣ - كيف تتمكن من وقاية نفسك من التدفقات الصخرية الفتاتية الحرارية؟ ومن التدفقات الطينية؟

أشكال الفصل السادس



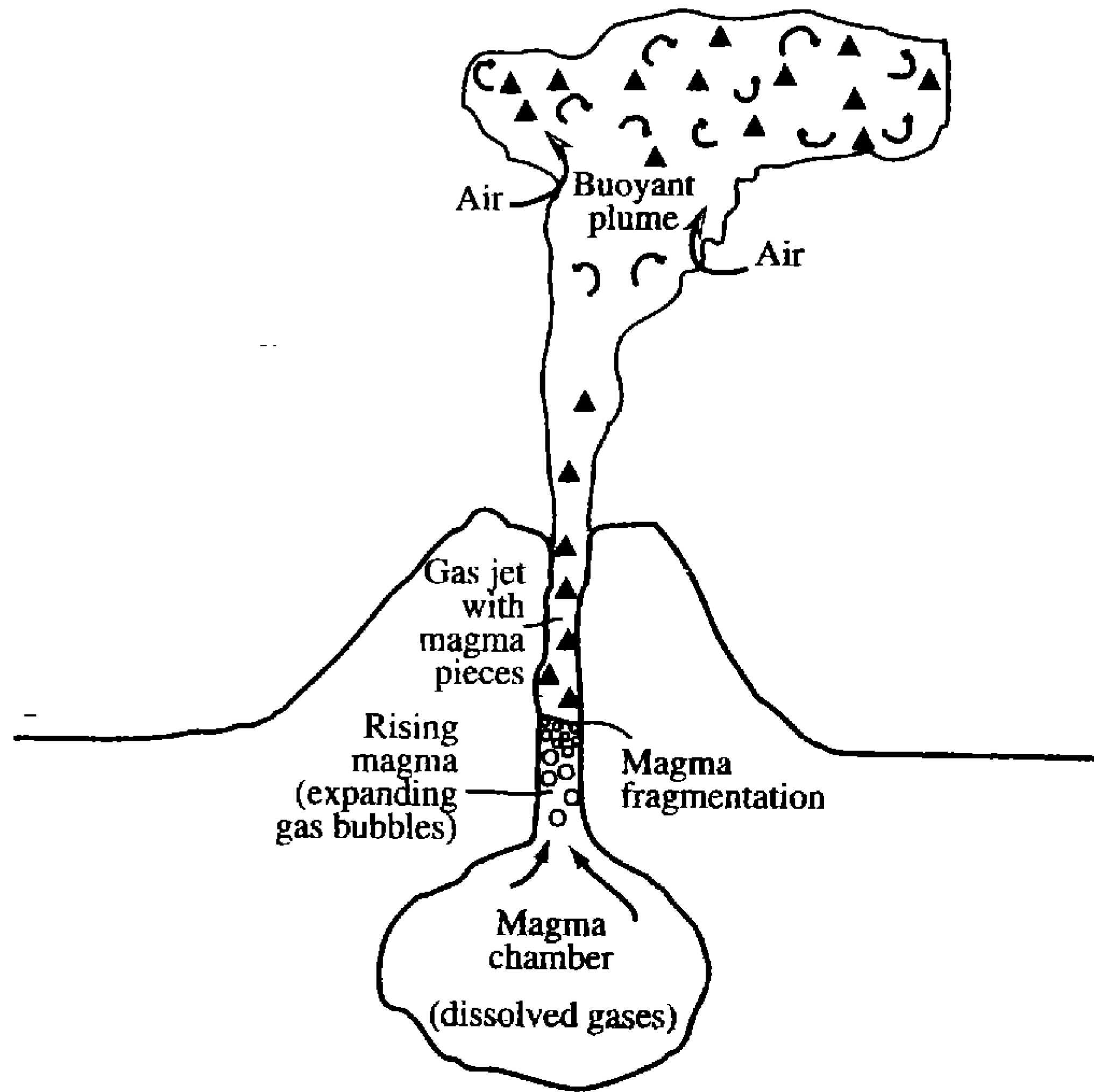
الشكل (١-٦) ثورة انفجارية لفوارة زلزالية في منتزه ييلوستون في يومينج.



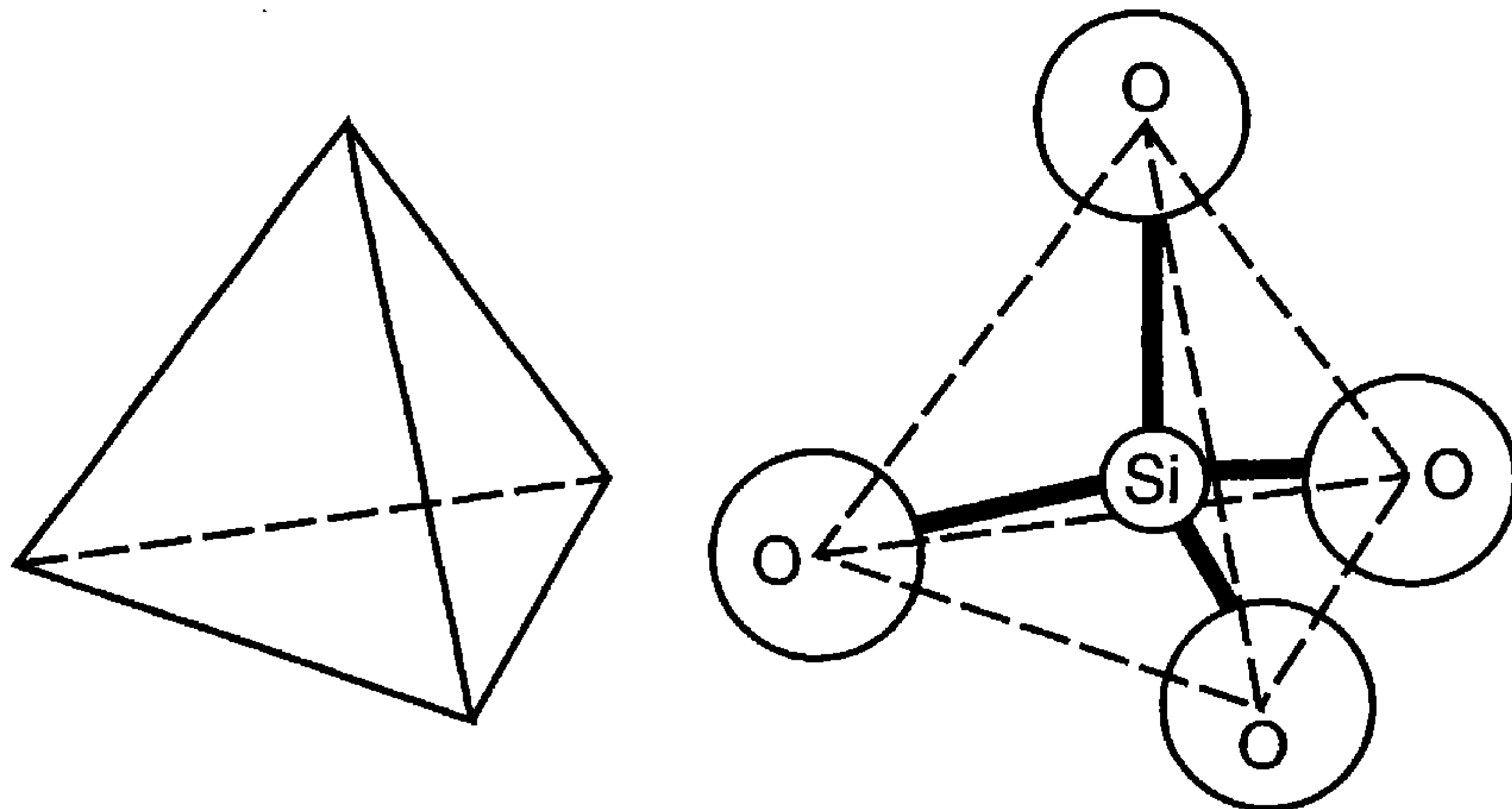
الشكل (٢-٦) الماء السطحي تسحبه الجاذبية إلى باطن الأرض، فيتدفق خلال الشقوق التي في الصخور ثم ترتفع حرارته إلى درجة فائقة، وفي عملية معقدة لتقليل الضغط يثور على السطح على شكل فوارة.



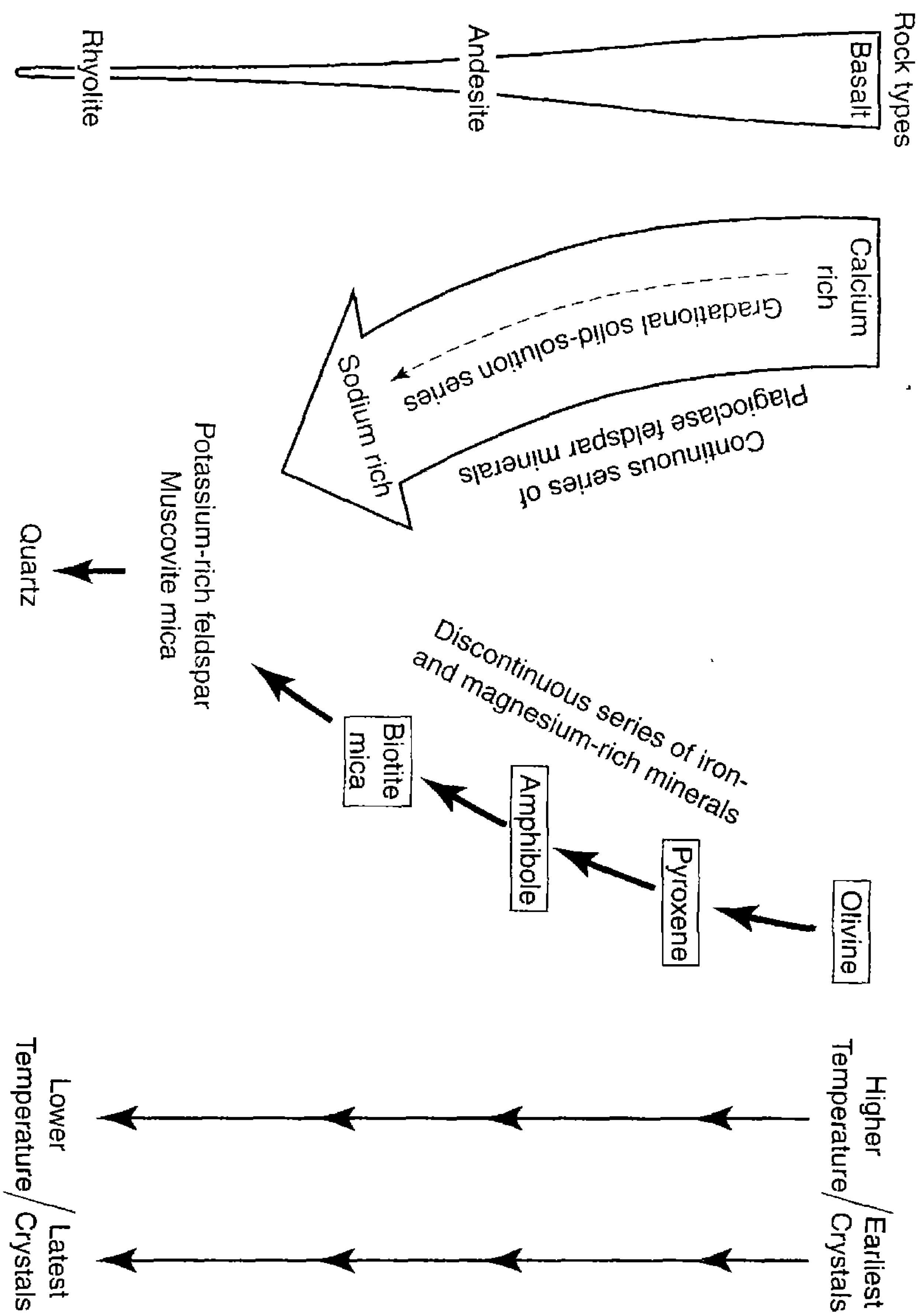
الشكل (٦-٣) رماد يتصاعد من بركان تلال سوفريير في مونتسيرات في عام ١٩٩٧. وقد تحولت كل المنازل والزراعات الظاهرة هنا إلى رماد بعد عدة أسابيع.



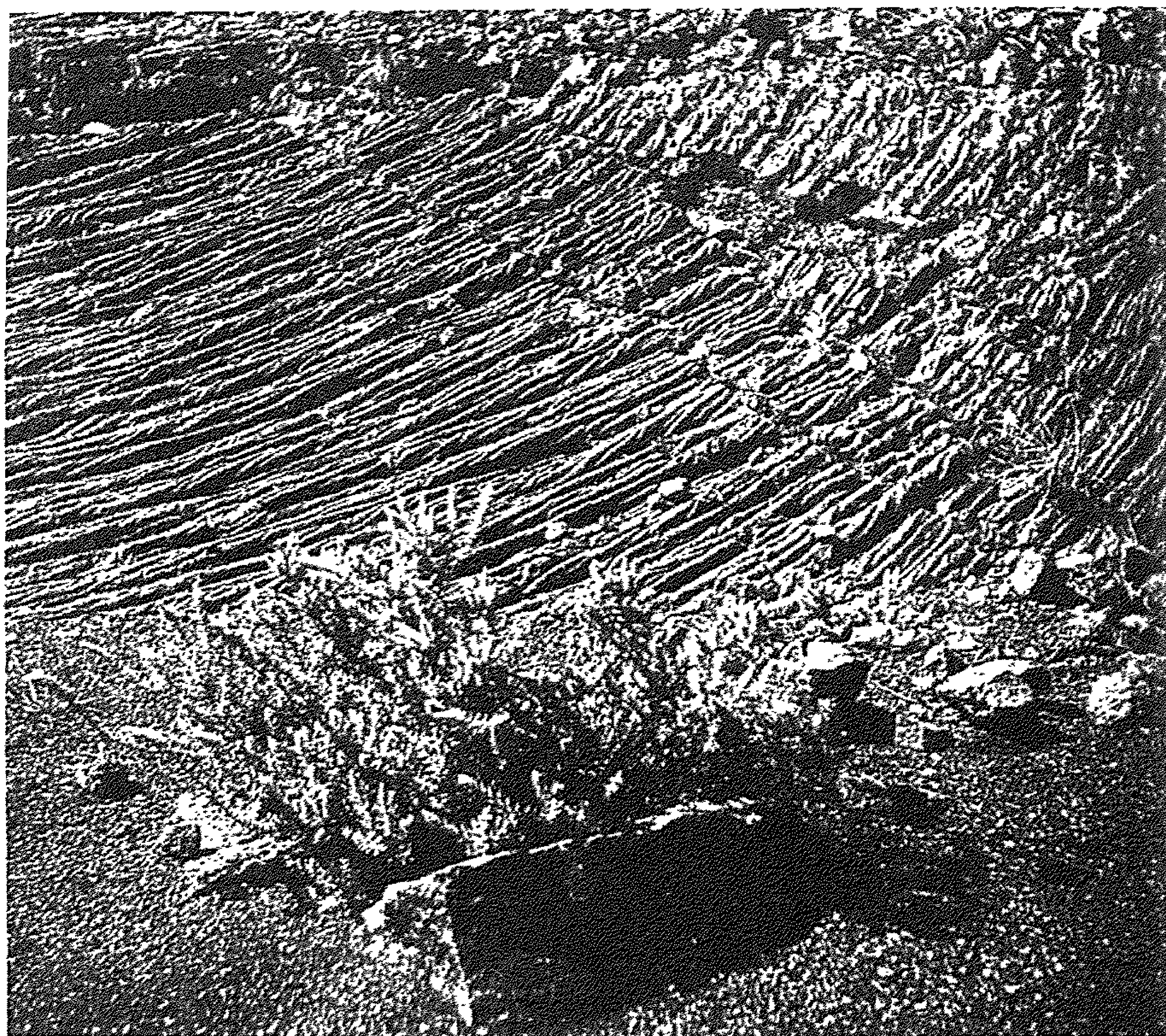
الشكل (٤-٦) عندما ترتفع الصهارة إلى مستويات الضغط المنخفض يتسرب الغاز من المحاليل على شكل فقائيع تكتسح الصهارة وتصبح نافورة غازية تؤدي إلى ظهور ريشة (سحابة) طافية.



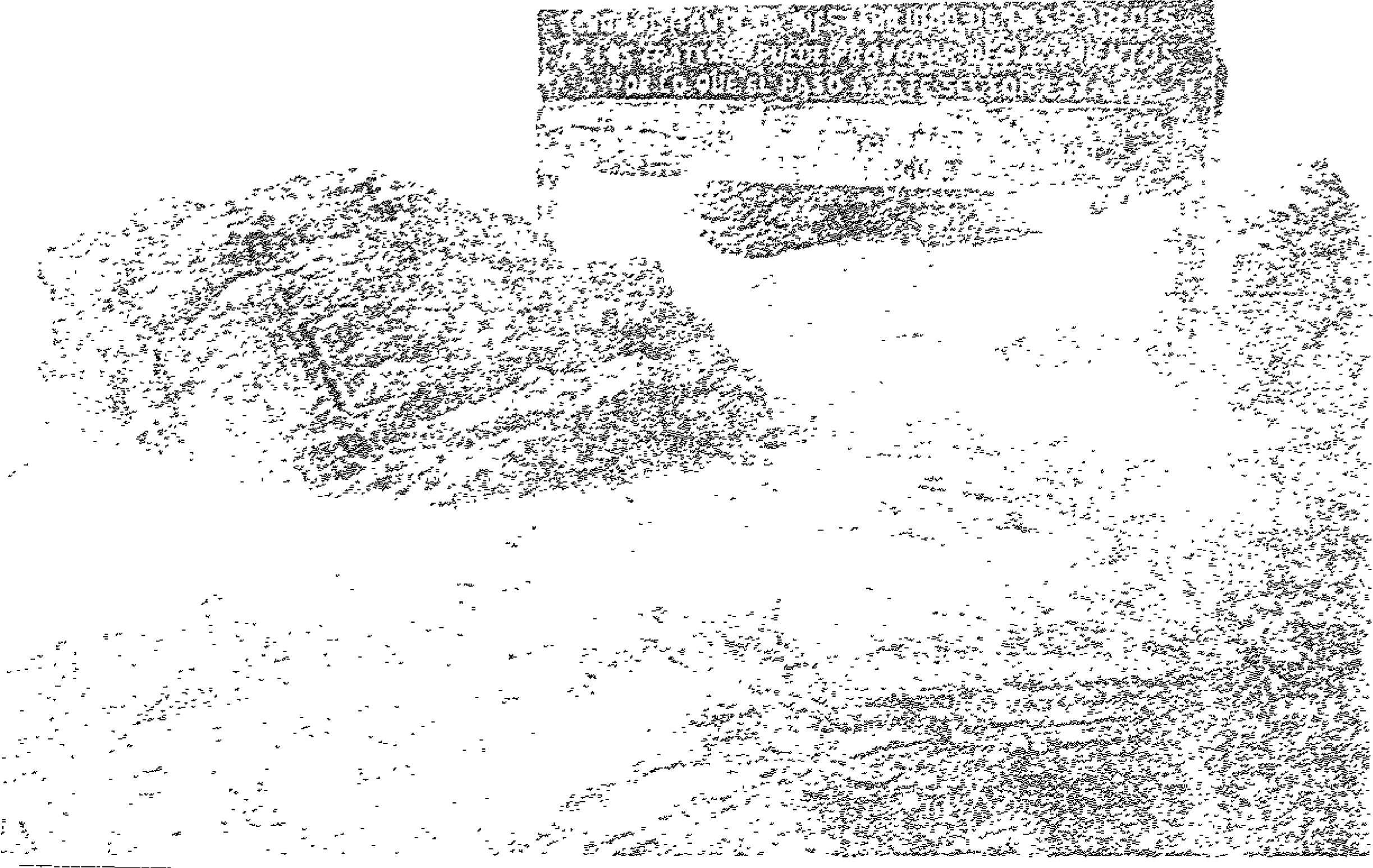
الشكل (٥-٦) ذرة السيليكون ذات الشحنة الموجبة +٤ وقد اتحدت مع أربع ذرات من الأكسجين كل منها ذات شحنة سلبية -٢.



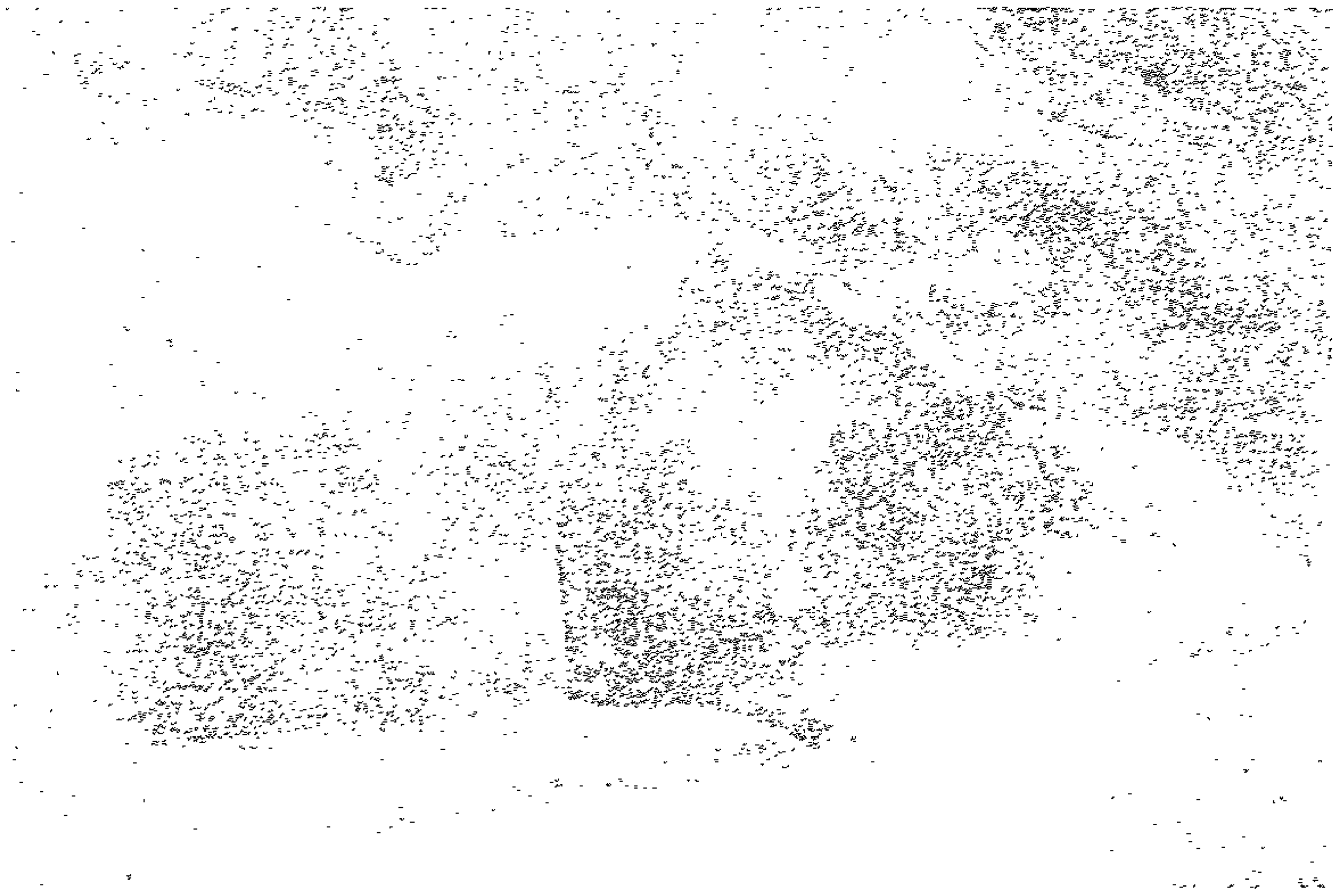
الشكل (٦-٦) نظام تبلور المعادن من الصهارة التي تبرد.



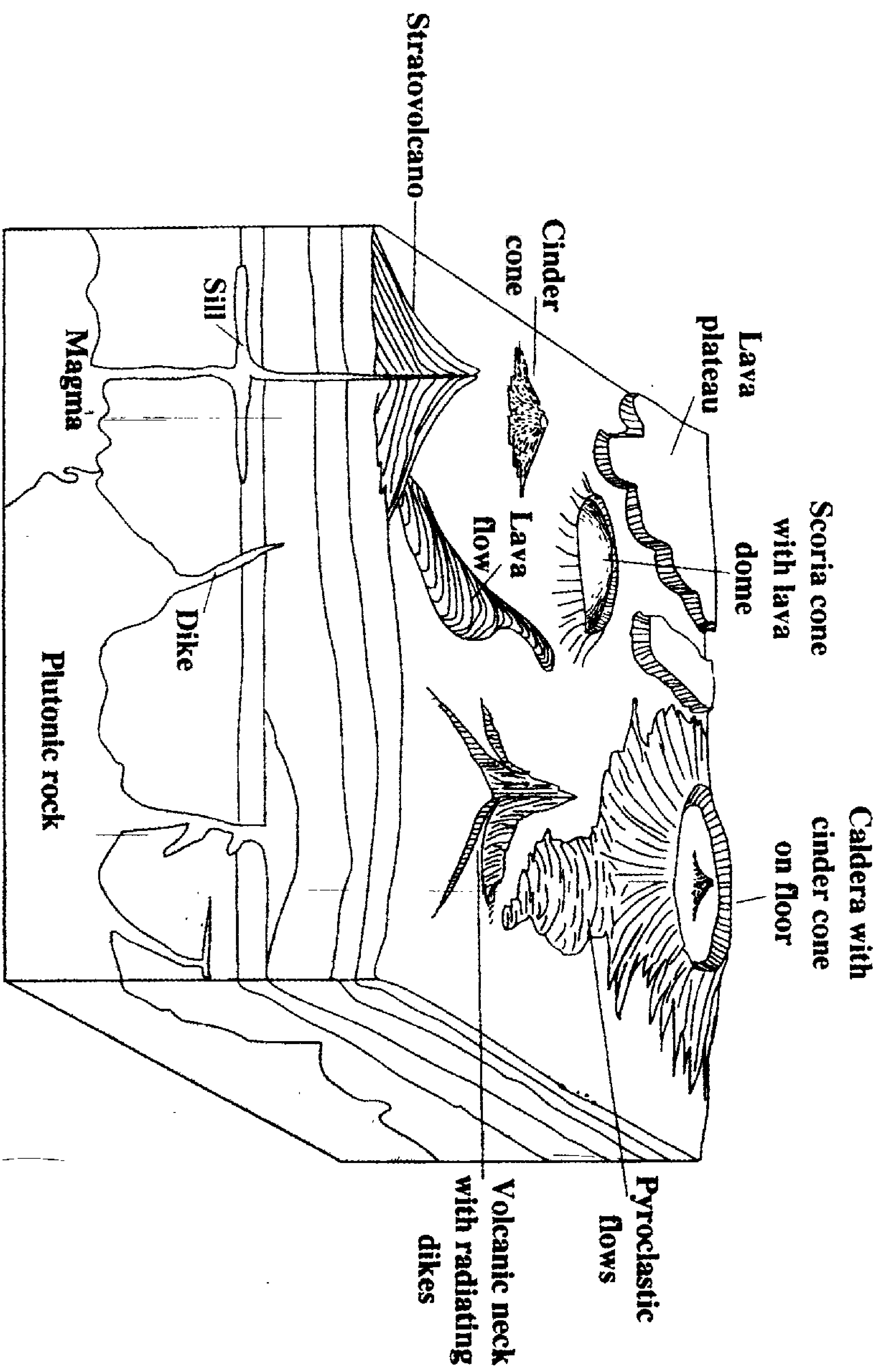
الشكل (٦-٧) مقياس مصغر لحمم حبلية ملساء بالقرب من هاليمومو في هاواي.



الشكل (٦-٨) كتل كبيرة من الصهارة بردت وهى محمولة فى الهواء وسقطت على شكل قنبلة بركانية فى بركان إيرازو فى كوستاريكا.



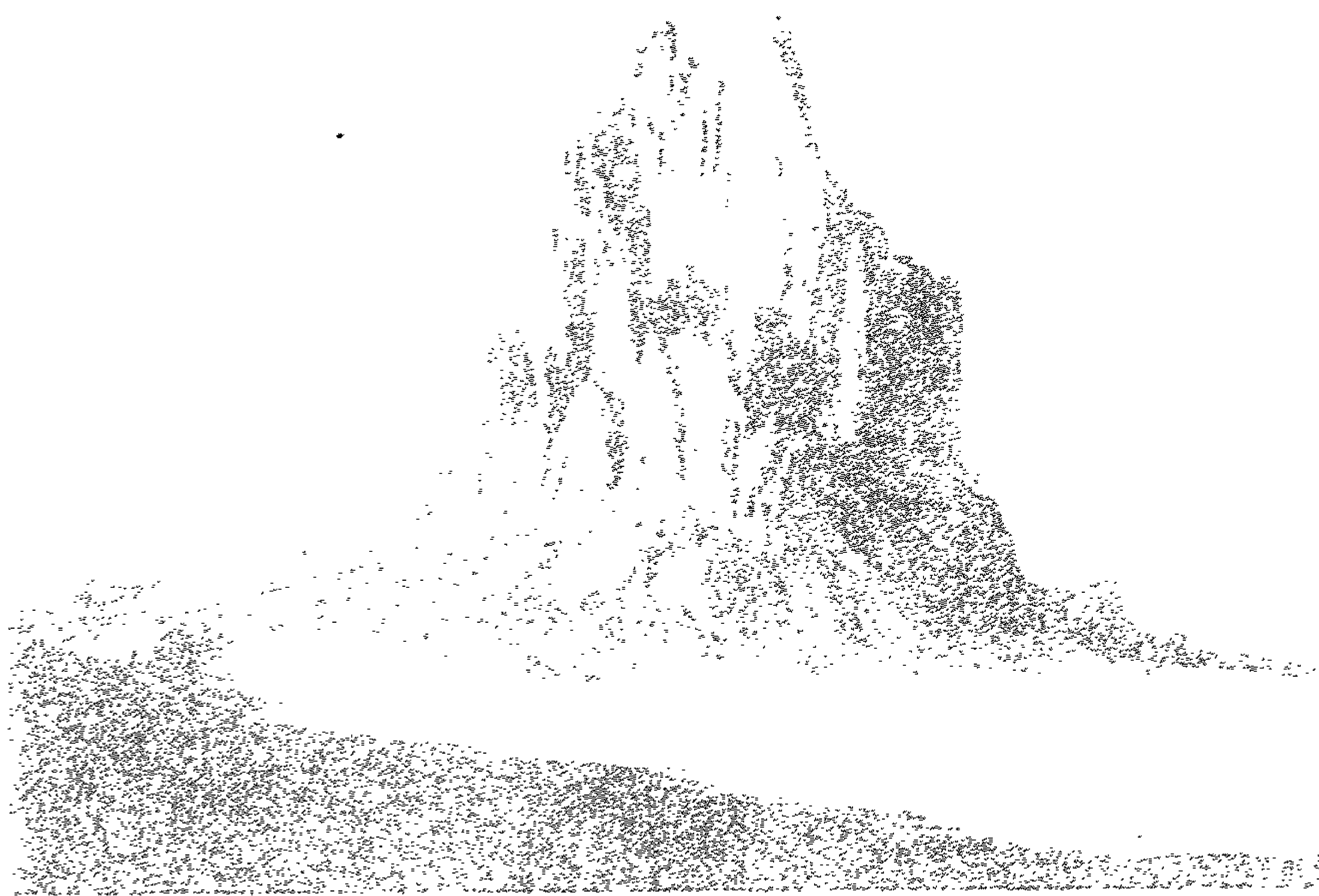
الشكل (٦-٩) الرماد البركانى يغطى منزلا بالقرب من جبل بيناتيوبو فى الفيلبين فى يونيو ١٩٩١.



الشكل (٦-١) مجسم تخطيطي مكعب يوضح تضاريس بركانية متنوعة.



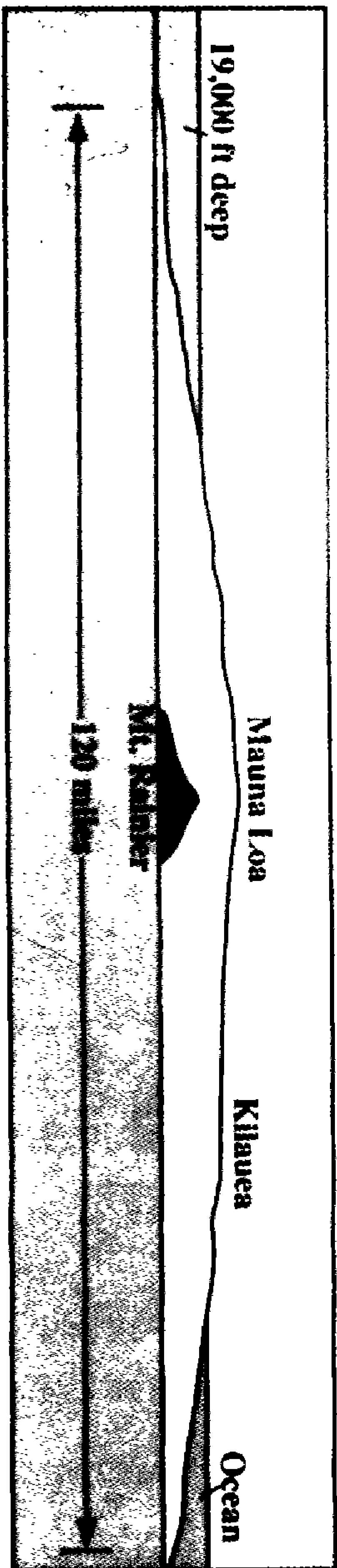
الشكل (١١-٦) بركان بارىكيوتين يثور فى عام ١٩٤٣. وهذا المخروط من الرماد البركانى البالغ من الارتفاع ٤٠٠ متر (١٣٠٠ قدم) يقع فى ولاية ميتشوكان فى المكسيك.







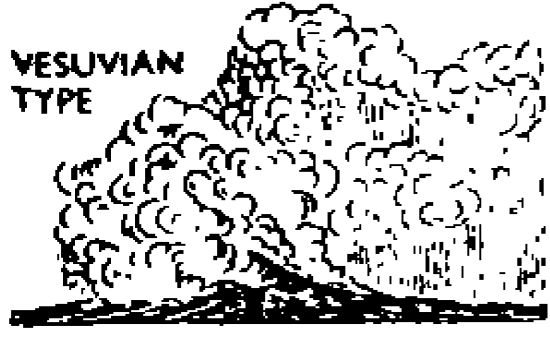
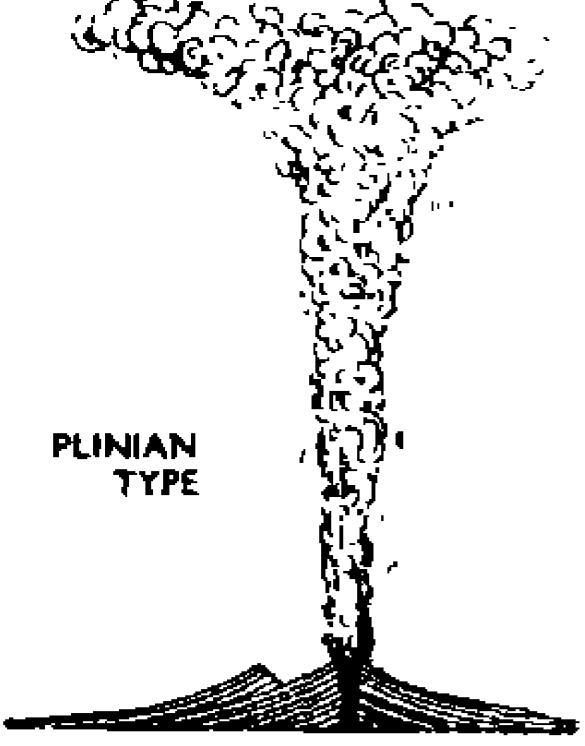

الشكل (١٢-٦) صخرة شيب: عنق لبركان فى شمال غربى نيومكسيكو. وهى عبارة عن صخر شديد المقاومة تكوّن من صهارة بردت داخل قناة التوصيل المركزية لأحد البراكين الخاملة الآن.



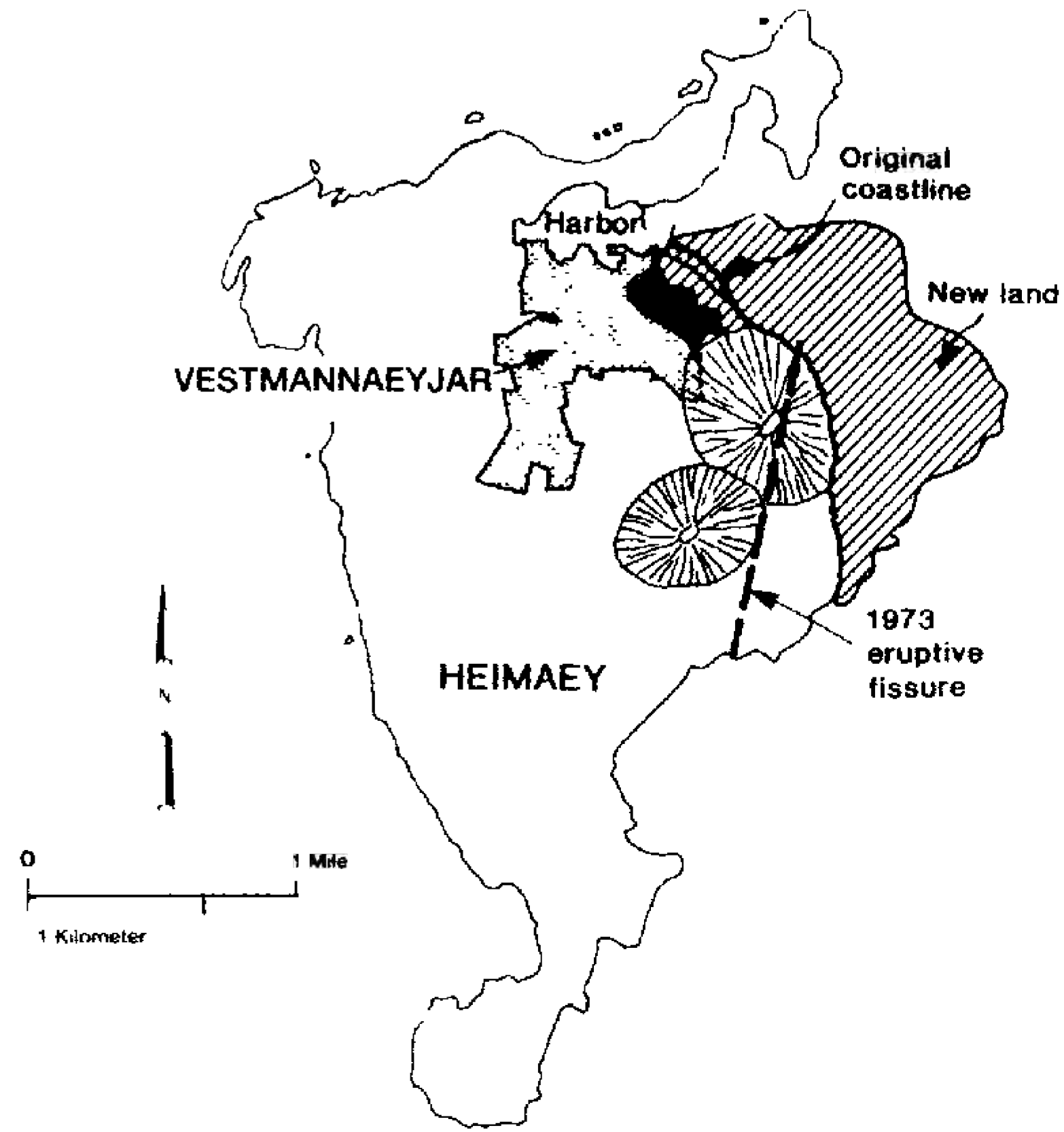
الشكل (١٣-٦) بركان شيشالدين وهو بركان متطابق متناسق يرتفع ٢٨٥٧ مترا (٩٣٧٢ قدما) فوق سطح البحر فى جزر أليوشيا فى ألاسكا.



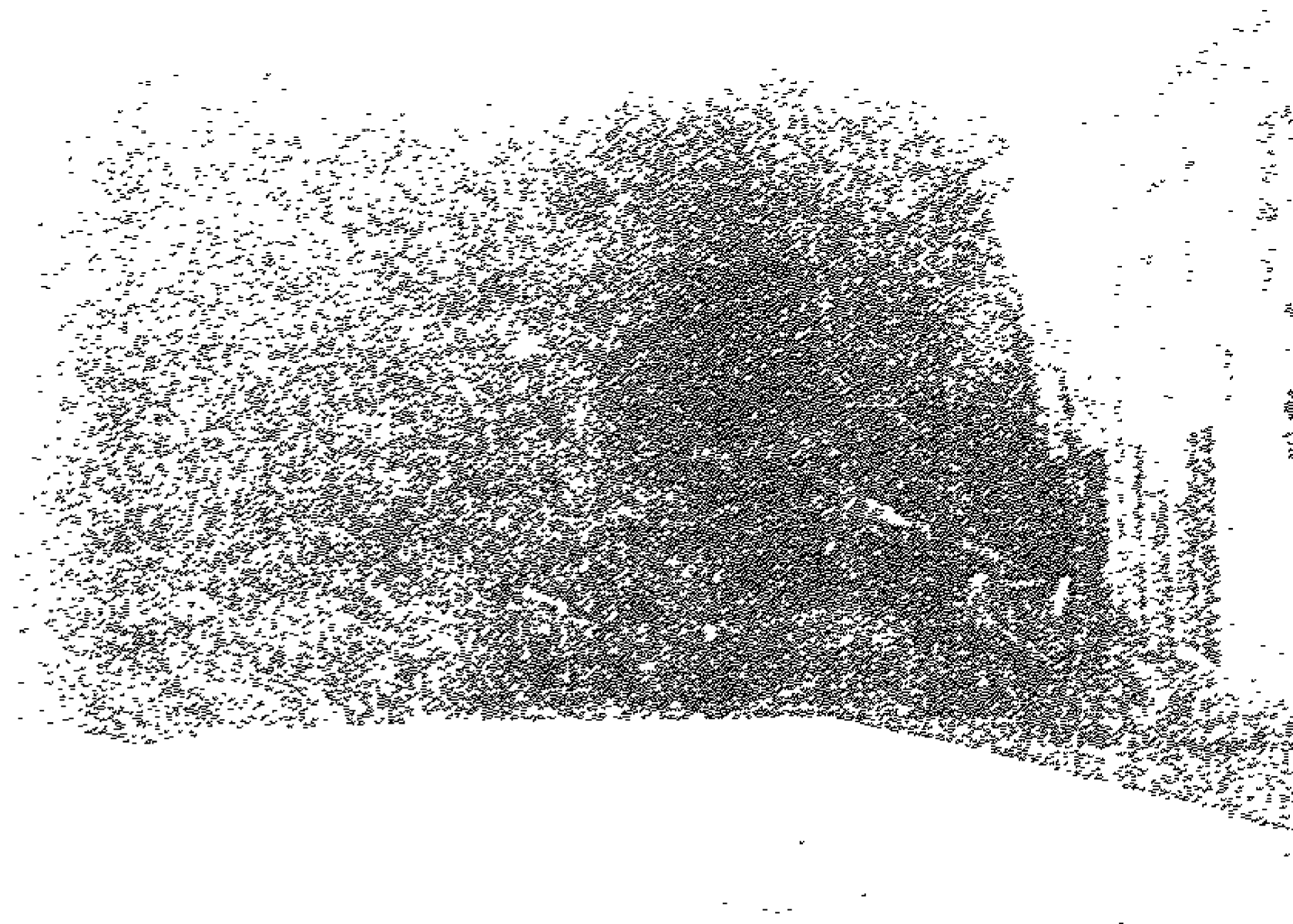
الشكل (١٤-٦) بركان درعی مثل مونا لوا فی هاوای، ذو اتساع کبیر مقارنا بارتفاعه. وبركان مرکب مثل مونت رینییر فی واشنطون ذو ارتفاع کبیر مقارنا باتساعه.

Eruption Type	Explosivity	Composition	Volcanic Landform
<p>ICELANDIC TYPE</p> 	Nonexplosive (VEI = 0-1)	Basalt (low viscosity)	Volcanic plateau and small shield volcanoes
<p>HAWAIIAN TYPE</p> 	Nonexplosive (VEI = 0.1)	Basalt (low viscosity)	Large shield volcanoes
<p>STROMBOLIAN TYPE</p> 	Low (VEI = 1-3)	Basalt to Andesite (low-to-moderate viscosity)	Scoria cones
<p>VULCANIAN TYPE</p> 	Moderate (VEI = 2-5)	Basalt to Rhyolite (moderate-to-high viscosity)	Scoria cones and Stratovolcanoes
<p>VESUVIAN TYPE</p> 			
<p>PLINIAN TYPE</p> 			
<p>PELEAN TYPE</p> 			
	<p>High (VEI = 3-8)</p>	Andesite to Rhyolite (high viscosity)	Stratovolcanoes

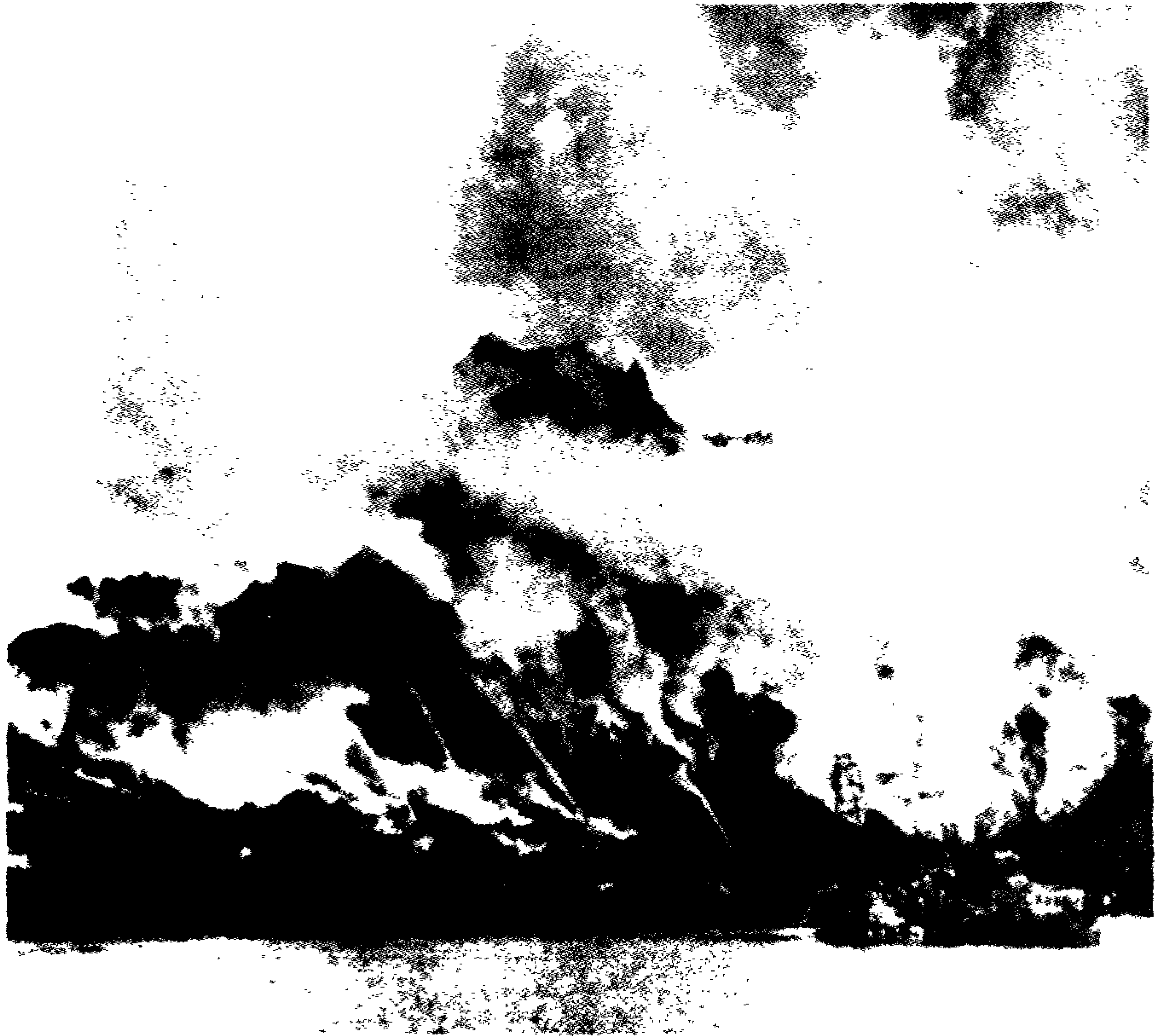
الشكل (١٥-٦) نماذج من ثورات البراكين.



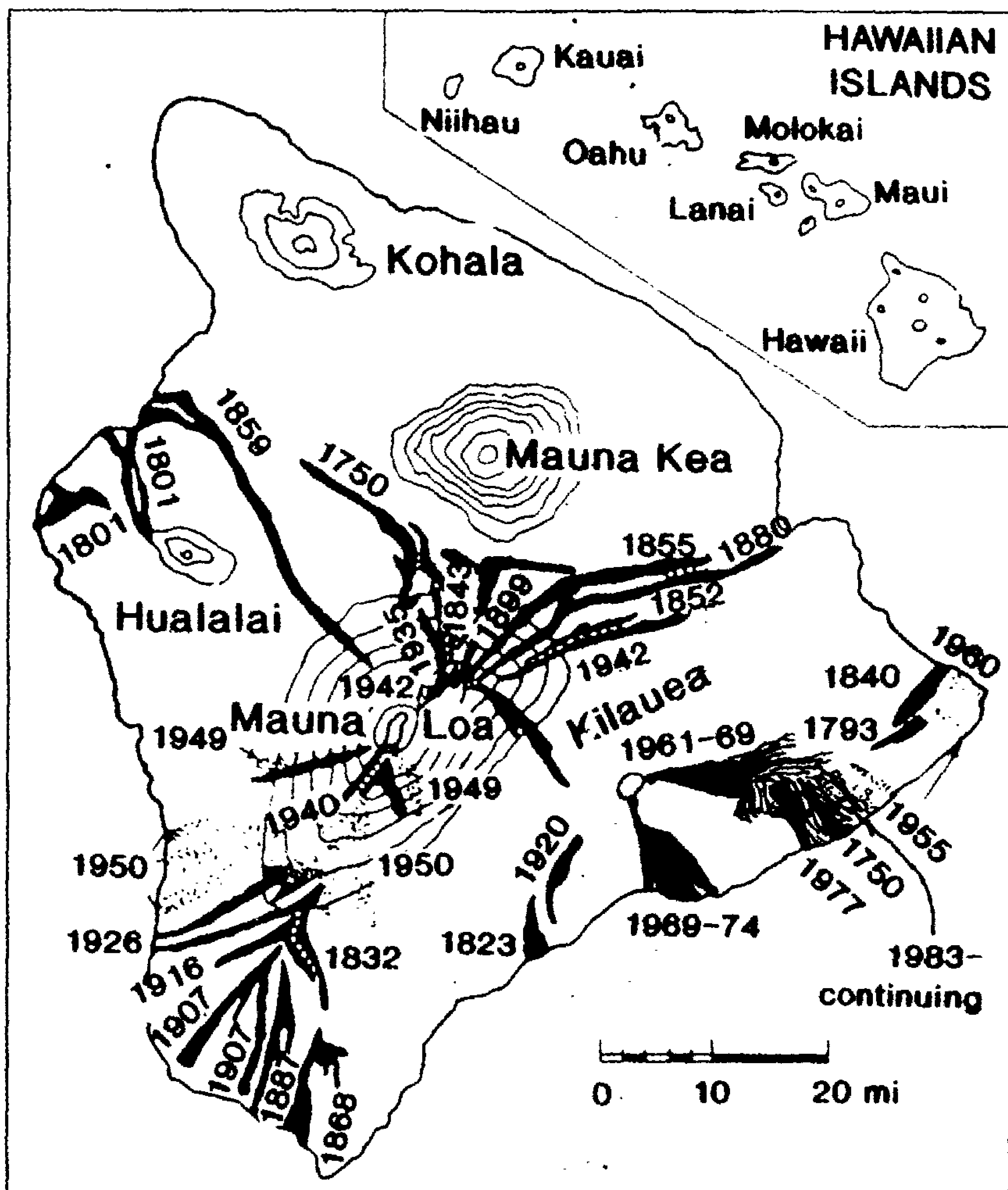
الشكل (٦-١٦) جزيرة هايمى بساحلها القديم الموضح بالخط الثقيل. والمنطقة المظلمة أرض جديدة تكونت من تدفقات الحمم في عام ١٩٧٣. لاحظ أن الميناء الجديد يتميز بالكبر والوقاية بشكل أفضل.



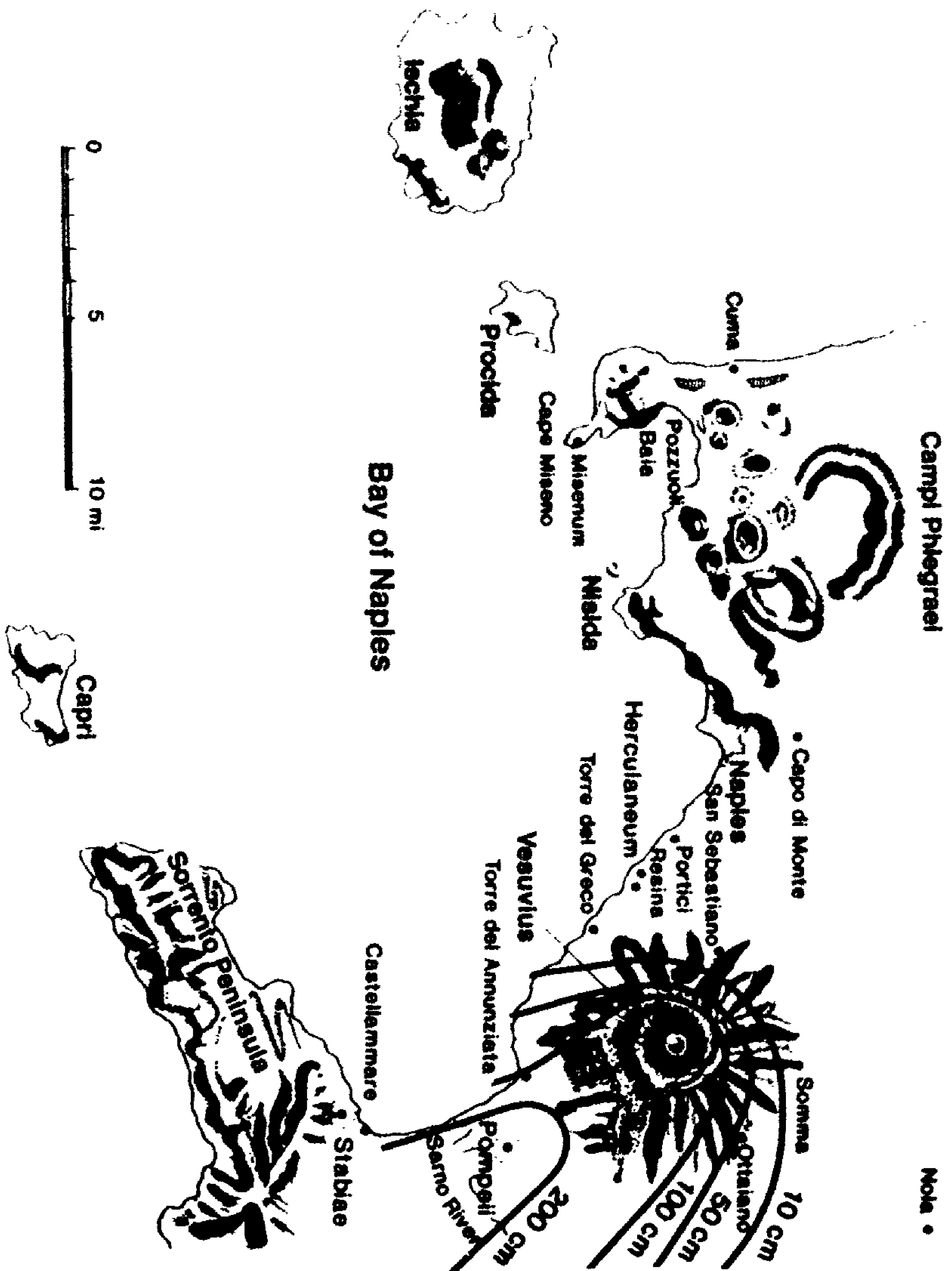
الشكل (٦-١٧) تدفقات من الحمم الخشنة توقفت بين مبنيين لمصانع الأسماك في فيستماننييار في ٢٣ يوليو ١٩٧٣.



الشكل (٦-١٨) ماء البحر يرش على جبهة من الحمم لتبريدها حتى تتصلب لمنعها من قفل ميناء
قيستمانيار في ٤ مايو ١٩٧٣ .



الشكل (٦-١٩) خريطة هاواي توضح بعض تدفقات الحمم التاريخية.



الشكل (٦-٢٠) خريطة منطقة خليج نابولي توضح موقع جبل فيزوف، وسقوط الزجاج البركاني الخفاف من ثورة عام ٧٩ ميلادية موضح بكتود
يقرر بالاستيتمترات. ودفنت مدينتا بومبي وستابياي تحت الزجاج البركاني الخفاف، بينما دفنت هيركيولانيوم تحت الحمم الطينية.



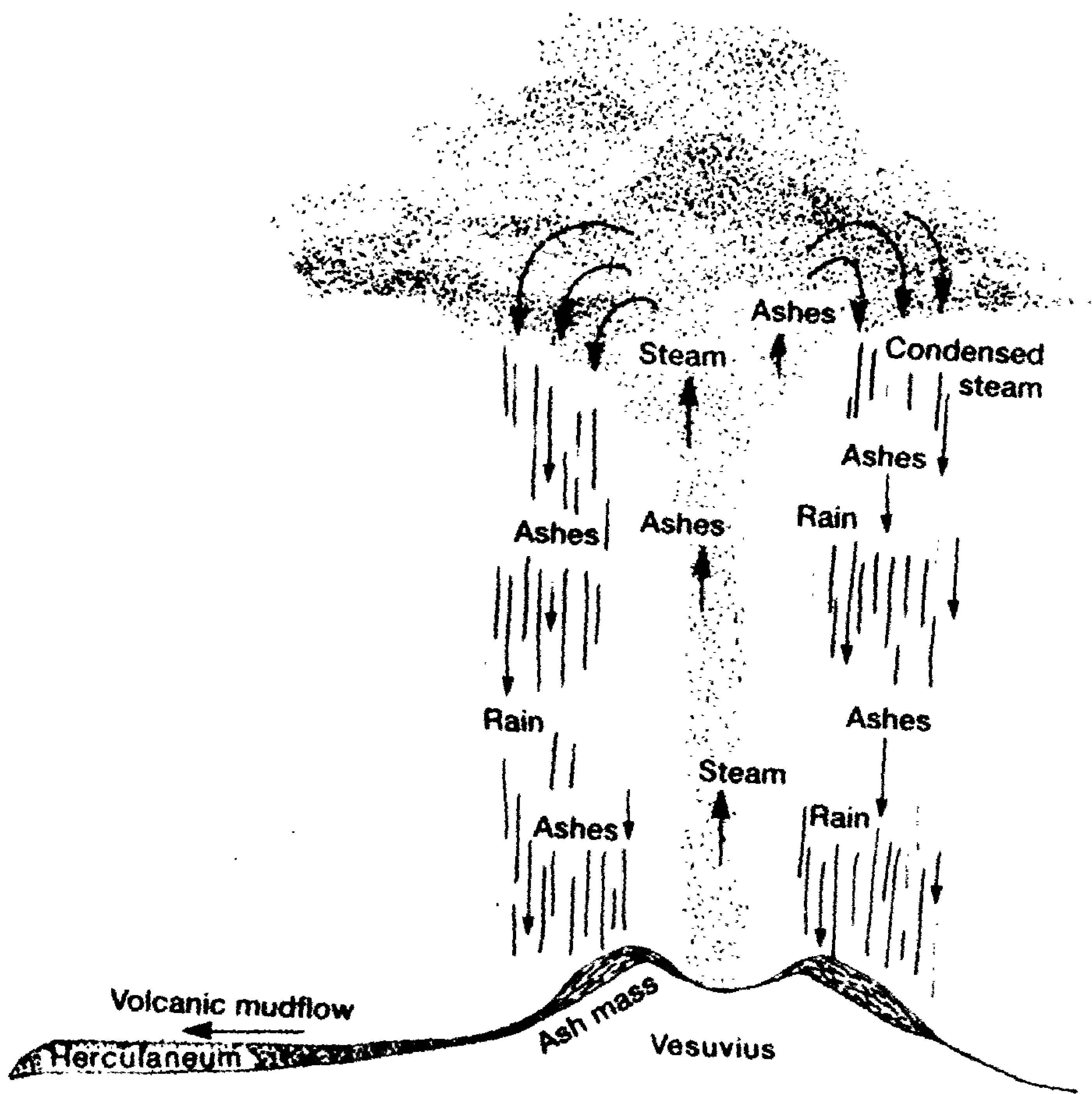
الشكل (٢١-٦) منظر في فوهة بركان مونت بيناتيبو كمثال لنموذج ثورة فيزوف بعد أن هدأت في يوم ١ أغسطس ١٩٩١.



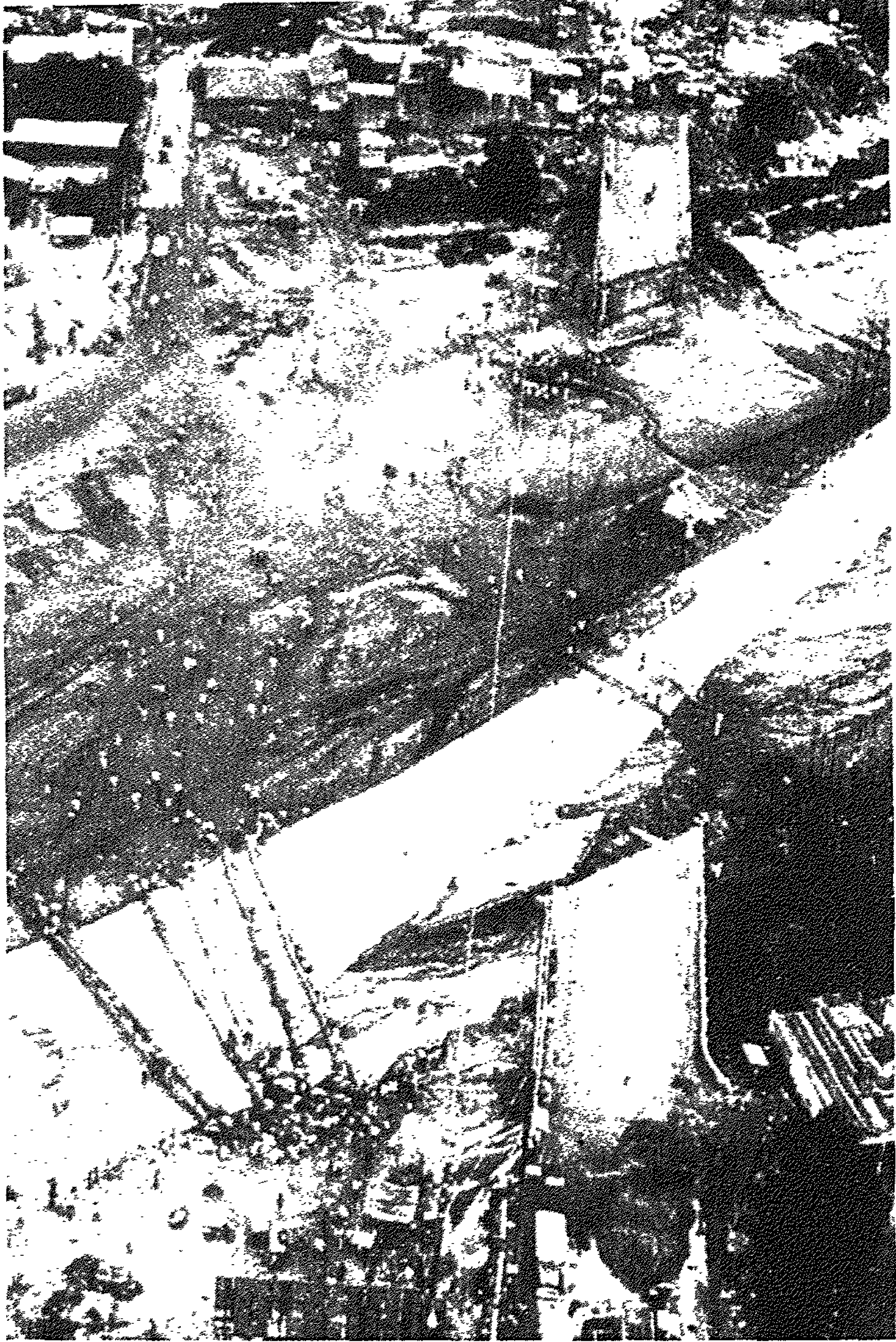
الشكل (٢٢-٦) جثمان لرجل قتله تدفق الصخور الفتاتية الحرارية من فيزوف في أواخر أغسطس عام ٧٩ ميلادية.



الشكل (٢٣-٦) أول انفجار متوهج كبير من مونت بيناتيويو في يوم ١٥ يونيو ١٩٩١. لاحظ أن تدفق الصخور الفتاتية الحرارية هابطة على التل إلى اليسار.



الشكل (٦-٢٤) طقسُ بركانيٌّ وتكونُ للحمم الطينية. وتؤدي الثورة العمودية العالية إلى تراكم الحطام على المنحدرات الحادة للبركان. ويتكثف البخار المندفع إلى أعلى في الارتفاعات العالية الباردة حيث يسقط على شكل أمطار. والمنطقة جاهزة: منحدرات حادة + حطام بركاني حار + أمطار غزيرة = حمم طينية.

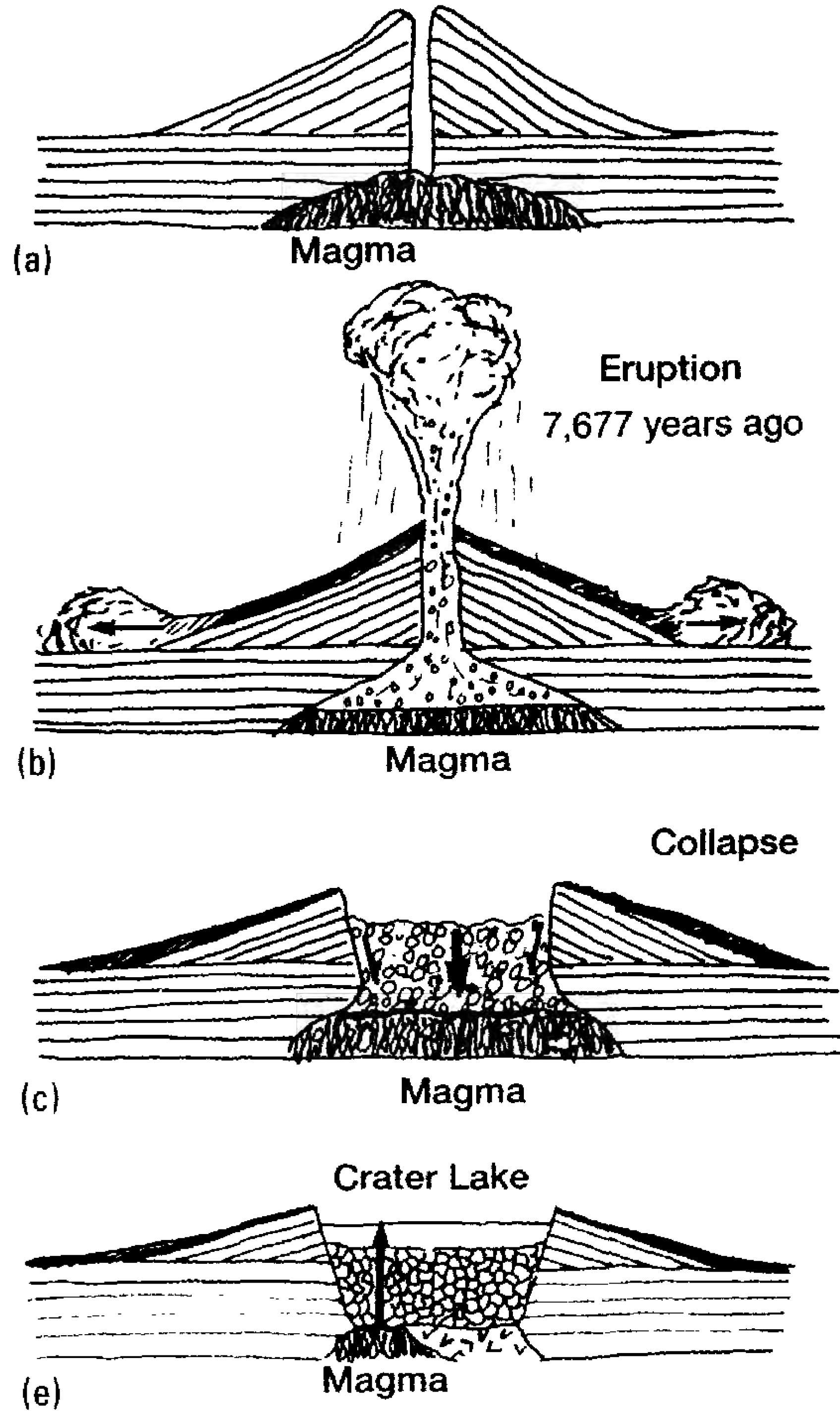


الشكل (٦-٢٥) دمرت الحمم الطينية المتدفقة من ثورة من نموذج فيزوف في مونت بيناتيويو الكبارى
الموصلة إلى مدينة إينجليز، في الفيلبين في يوم ١٢ أغسطس ١٩٩١.

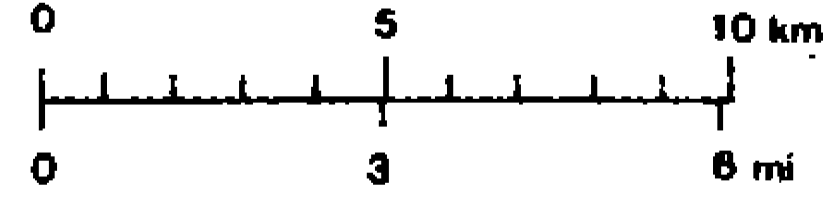
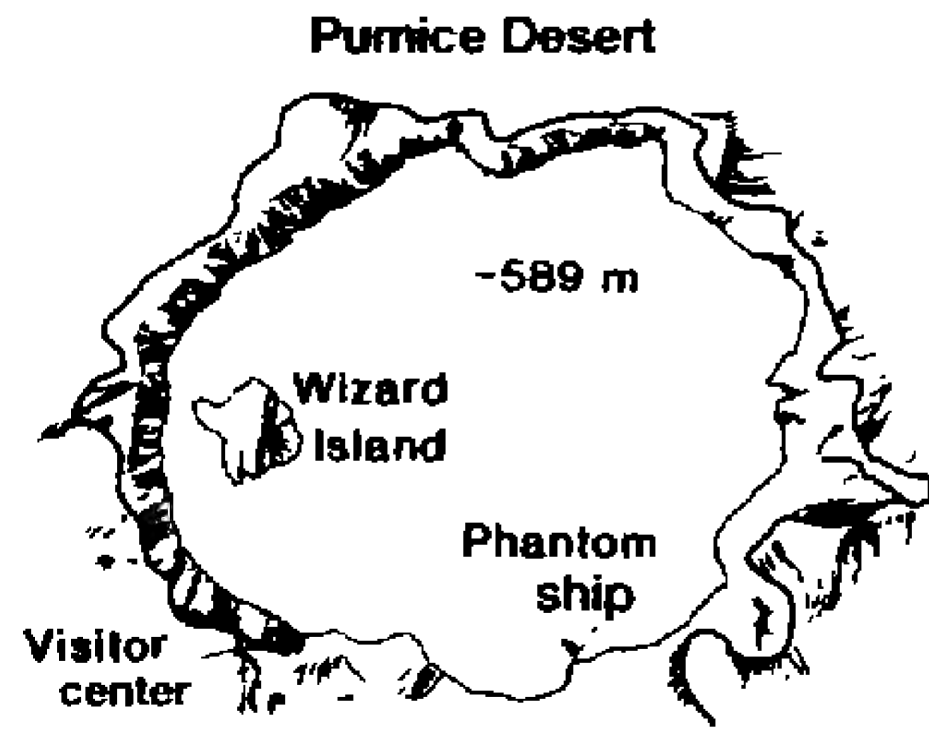


الشكل (٦-٢٦) بحيرة كريتر في أوريجون تملأ كالديرار جبل مازاما الذي انهار في عام ١٦٧٧ هـ ق.م.

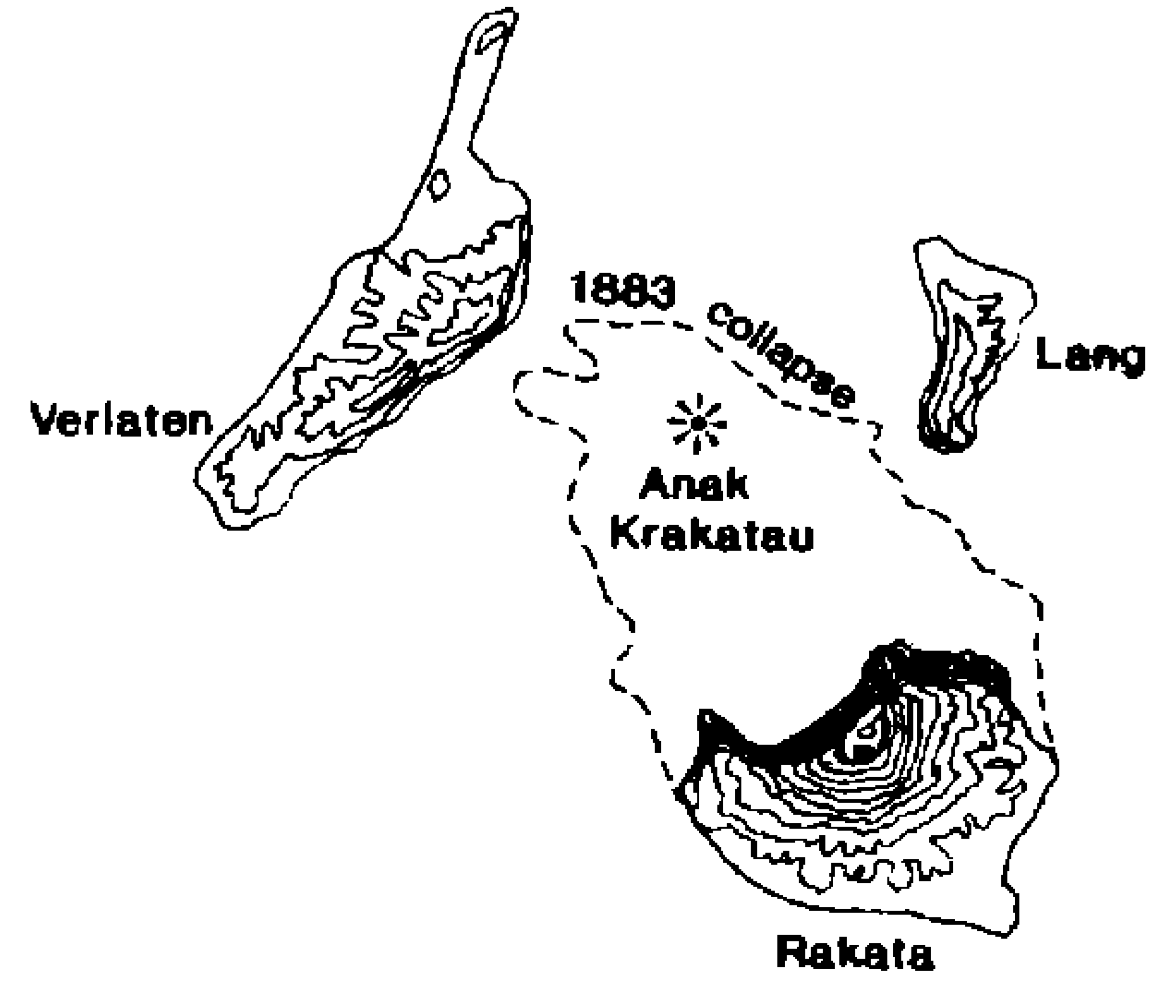
Mount Mazama
3,660-m (12,000-feet) elevation



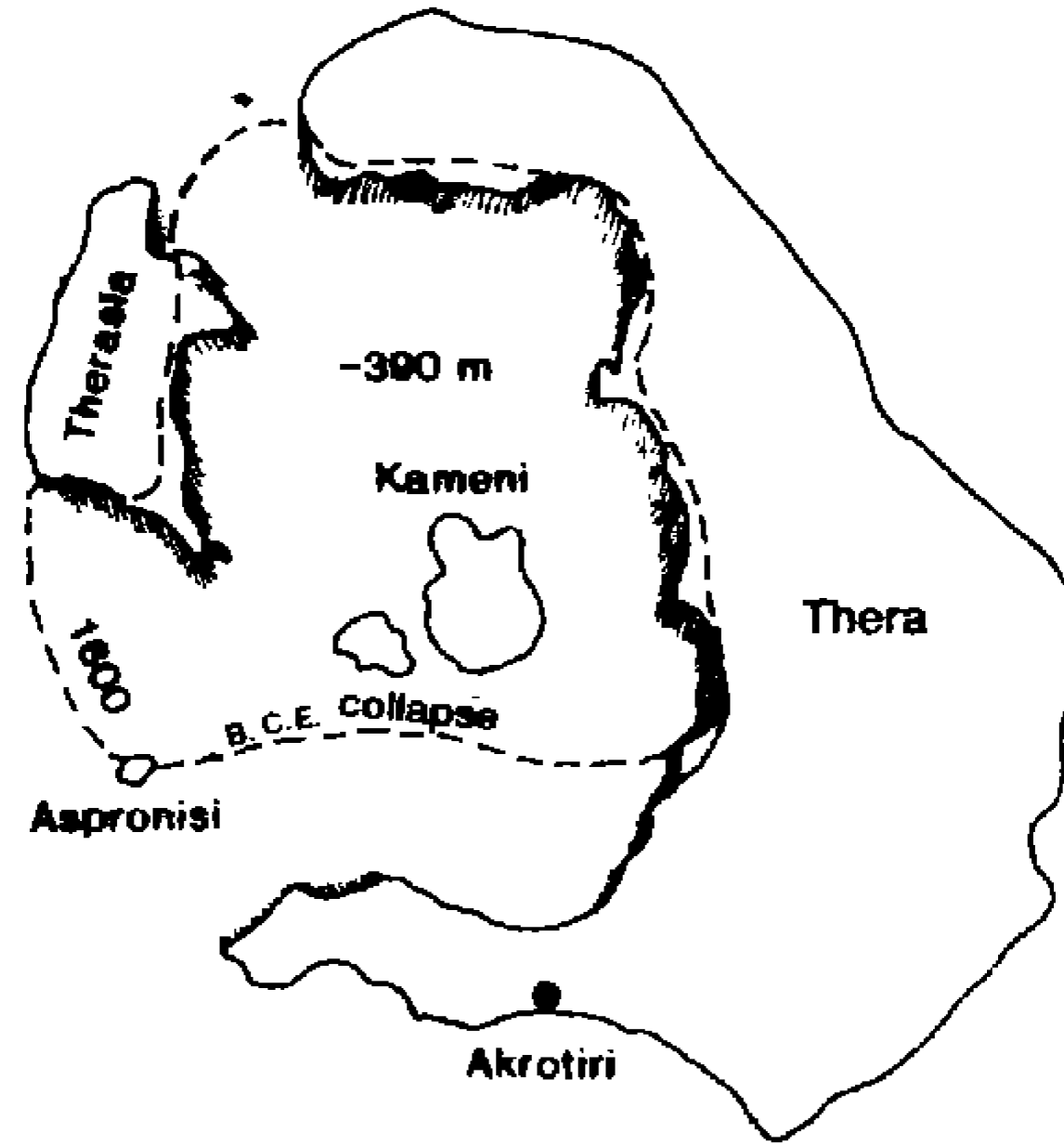
الشكل (٢٧-٦) كيف تكونت بحيرة كريتر. (أ) وقف بركان جبل مازاما عاليا. (ب) أفرغت الثورة الغازية في عام ٥٦٧٧ ق.م. كميات هائلة من الصهارة اللزجة. (ج) تركت الثورة الهائلة فجوة داخل الجبل الذي ضعف وسقطت قمته غير المدعومة في غرفة الصهارة المفرغة. (د) ملأت مياه بحيرة كريتر الآن كالديرا، وتكون الآن مخروط بركاني صغير (جزيرة ويزارد) فوق منسوب سطح البحيرة.



(a) Crater Lake, Oregon



(b) Krakatau, west of Java

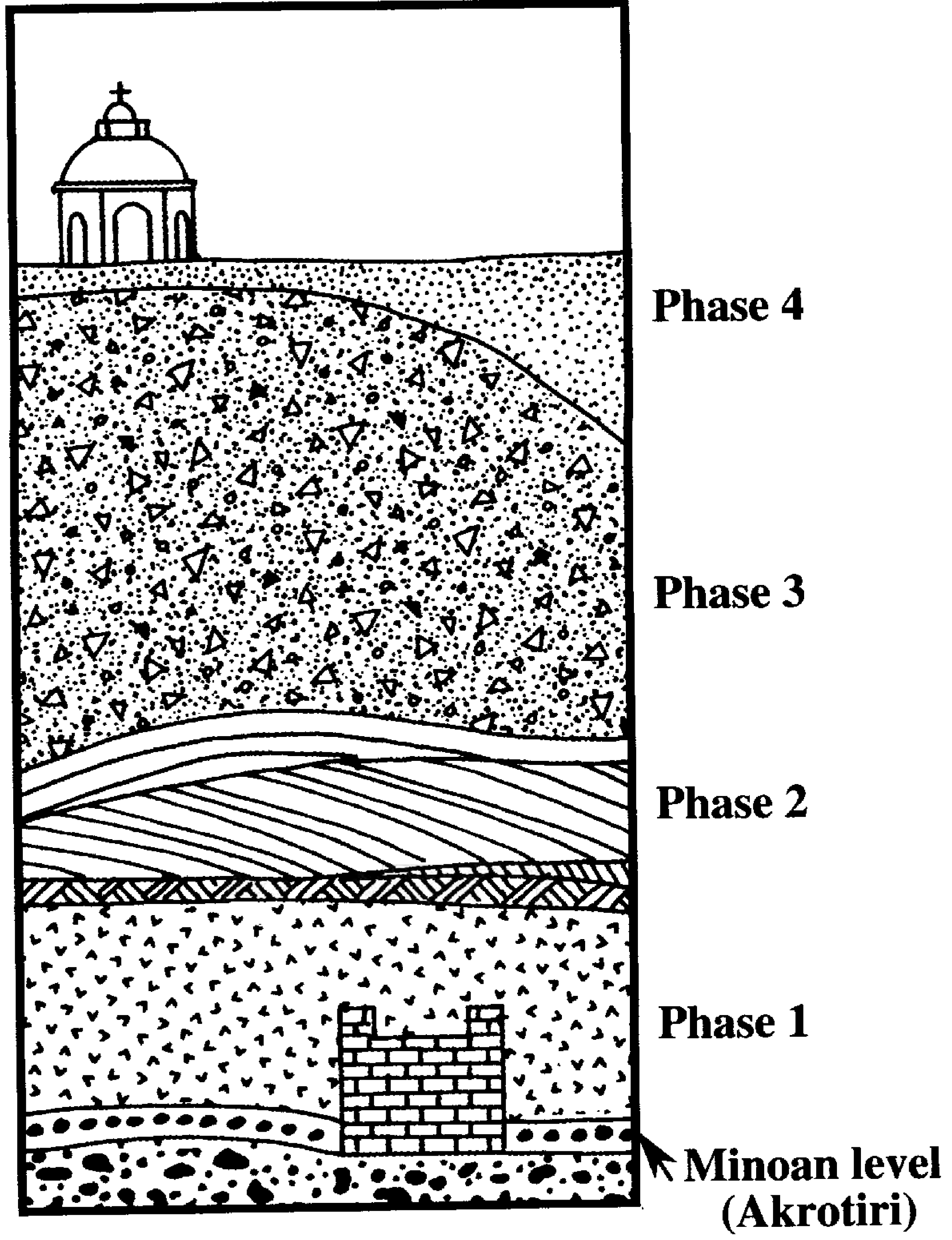


(c) Santorini, Aegean Sea

الشكل (٦-٢٨) خريطة لبعض الكالديرات المنهارة. (أ) تكونت الكالديرا شبه المستديرة لبحيرة كريتر في أوريغون منذ حوالي ٦٧٩, ٧ سنة. (ب) مخطط دائري تقريبا لبركان كراكاتاو القديم؛ ذي الشكل شبه بيضوي في انهيار ١٨٨٣؛ والبركان الجديد المتنامي في أناك كراكاتاو. (ج) كالديرا في بركان سانتوريني انهارت في بحر إيجه في حوالي عام ١٦٢٨ ق.م.

الشكل (٢٩-٦) لقطة جمالية داخل فوهة سانتوريني بمنزلها النمطية البيضاء على حافة الجرف.





الشكل (٦-٣٠) مدينة أقرطيس (كريت) المينوية عند بركان سانتوريني؛ وقد دفنت على عمق ٧٠ مترا
 بثورة بركانية على أربعة مراحل في حوالى عام ١٦٢٨ ق.م.

جداول الفصل السادس

الجدول (٦-١) قائمة بعلماء البراكين الذين قتلتهم الثورات البركانية

Year	Volcano	Total Deaths	Dead Volcanologists
1951	Kelut, Indonesia	7	3
1952	Myojin-sho, Japan	31	9
1979	Karkar, New Guinea	2	2
1980	St. Helens, United States	62	2
1991	Unzen, Japan	43	3
1991	Lokon-Umpong, Indonesia	1	1
1993	Galeras, Colombia	9	6
1993	Guagua Pichincha, Ecuador	2	2
2000	Semeru, Indonesia	2	2

الجدول (٦-٢) العناصر السائدة في القشرة الأرضية (النسبة المئوية للوزن)

Oxygen (O ²)	45.20%		
Silicon (Si ⁴)	27.20		
Aluminum (Al ³)	8.00		
Iron (Fe ^{2,3})	5.80	plus Titanium (Ti ^{3,4})	0.86%
Calcium (Ca ²)	5.06	Hydrogen (H ¹)	0.14
Magnesium (Mg ²)	2.77	Phosphorus (P ⁵)	0.10
Sodium (Na ¹)	2.32	Manganese (Mn ^{2,3,4})	0.10
Potassium (K ¹)	1.68	Total	99.23%
Total	98.03%		

الجدول (٦-٣) عناصر القشرة الأرضية متعددة بالنسب المئوية لأوزان الأكاسيد

Continental Crust		Oceanic Crust	
SiO ₂	60.2%	SiO ₂	48.7%
Al ₂ O ₃	15.2	Al ₂ O ₃	16.5
Fe ₂ O ₃	2.5	Fe ₂ O ₃	2.3
FeO	3.8	FeO	6.2
CaO	5.5	CaO	12.3
MgO	3.1	MgO	6.8
Na ₂ O	3.0	Na ₂ O	2.6
K ₂ O	2.9	K ₂ O	0.4

الجدول (٦-٤) نماذج الصخور النارية

Magma Type	Plutonic Rock	Volcanic Rock
SiO ₂ < 55%	Gabbro	Basalt
SiO ₂ = 55-65%	Diorite	Andesite
SiO ₂ > 65%	Granite	Rhyolite

الجدول (٦-٥) المواد البركانية

Lava	Aa	Rough, blocky surface
	Pahoehoe	Smooth, ropy surface
	Pillow	Ellipsoidal masses formed in water
Pyroclastic	Air-fall fragments	
	Fine ash (dust)	Flour-size material
	Coarse ash	Sand size
	Cinders	Marble- to golf-ball size
	Blocks	Big fragments, solid while airborne
	Bombs	Big fragments, liquid while airborne
	Volcanic tuff	Rock made of smaller fragments, e.g., deposit of a hot, gas-charged flow
Glass	Volcanic breccia	Rock made of coarse, angular fragments, e.g., deposit of a water-charged debris flow
	Obsidian	Nonporous glass
	Pumice	Porous froth

الجدول (٦-٦) مقارنة بين ثلاثة نماذج من الصهارة

Volcanic Rock Types	Basalt	Andesite	Rhyolite
Rock Description	Black to dark gray; contains Ca-plagioclase, pyroxene, olivine	Medium to dark gray; contains amphibole, pyroxene, intermediate Ca-Na-plagioclase	Light-colored; contains quartz, K-feldspar, biotite, Na-plagioclase
Volume at Earth's Surface	80% 45-55%	10% 55-65%	10% 65-75%
SiO ₂ Content	increasing		
Temperature of Magma	1,000-1,200°C	800-1,000°C	600-900°C
Viscosity	decreasing		
Gas Escape from Magma	Low (melted ice cream)	increasing	
Eruptive Style	Peaceful	increasing difficulty	Difficult Explosive
		increasing explosiveness	

الجدول (٧-٦) دليل القوة الانفجارية للبراكين

VEI	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Volume of Ejecta (m³)	<1 ^٤	10 ^٤ -10 ^٥	10 ^٥ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ^٩	10 ^٩ -10 ^٩	10 ^٩ -10 ^{١٠}	10 ^{١٠} -10 ^{١١}	10 ^{١١} -10 ^{١٢}	>10 ^{١٢}
Eruption Column Height (km)	<0.1	0.1-1	1-5	3-15	10-25	>25			
Eruptive Style	<-----Hawaiian----->		<-----Vulcanian----->		<-----Plinian----->				
Duration of Continuous Blast (hours)	<-----<1----->		<---1-6--->		<----->12----->				
			<-----6-12----->						

After Newhall and Self (1982).

مراجع الفصل السادس

نصوص ومراجع مقترحة Suggested Readings and References

- Bullard, F. M. (1984). *Volcanoes of the Earth*. Austin: University of Texas Press.
- Carey, S., and Sigurdsson, H. (1987). Temporal variations in column height and magma discharge rate during the 79 A.D. eruption of Vesuvius. *Geological Society America Bulletin*, 99, 303–14.
- Decker, R. W., and Decker, B. B. (1991). *Mountains of Fire*. San Francisco: Cambridge University Press.
- Etienne, R. (1992). *Pompeii, The Day a City Died*. New York: Harry N. Abrams.
- Francis, P., and Self, S. (1983, November). The eruption of Krakatau. *Scientific American*, 172–87.
- Heliker, C. (1992). *Volcanic and Seismic Hazards on the Island of Hawaii*. U.S. Geological Survey Publication.
- Newhall, C. G., and Self, S. (1982). The volcanic explosivity index (VEI). *Journal of Geophysical Research*, 1231–38.
- Schmidt, R. G., and Shar, H. R. (1971). *Atlas of Volcanic Phenomena*. U.S. Geological Survey.
- Tilling, R. L. (1982). *Volcanoes*. U.S. Geological Survey Publication.
- White, D. E. (1984). *Geysers*. U.S. Geological Survey Publication.
- Wright, T. L., and Pierson, T. C. (1992). *Living with Volcanoes*. U.S. Geological Survey Circular 1073.

Videos

الفيديو

- Hawaii: Born of Fire. (1995). NOVA/WGBH Boston (60 min.).
- Volcano. (1992). National Geographic (60 min.).
- In the Path of a Killer Volcano—Mount Pinatubo. (1993). NOVA/WGBH Boston (60 min.).
- The Volcano Watchers. (1987). BBC-TV, (60 min.).
- The Earth Revealed—Volcanism. (1992). Annenberg/CPB (30 min.).
- Kilauea: Close-up of an Active Volcano. (1994). Ka'lo Productions Hawaii (30 min.).
- Deadly Shadow of Vesuvius. (1998). NOVA/WGBH (55 min.).

الفصل السابع

ظاهرة البراكين والألواح التكتونية

نوارت الحضارات القديمة فى مقابر

صارت تشيدها خطاياهم

لورد ريتشى كالدير، ١٩٧٠

رهن منزل الأسرة

زاد إدراكنا لكيفية نشاط الأرض زيادة ملحوظة بمعرفة نظرية الألواح التكتونية؛
إذ زودتنا بتأمل جديد فى الزلازل، وسوف نطبقها الآن على البراكين.

الألواح التكتونية وإثارة البراكين

يرتبط أكثر من ٩٠٪ من البراكين بحواف الألواح التكتونية، ومعظم البقية
الباقية تسببها البقع الحارة (الشكل ٧-١). وما يزيد عن ٨٠٪ من صحارة الأرض التى
تقذفها البراكين تحدث عند مراكز الانتشار. فمراكز الانتشار مواقع مثالية لإثارة
البراكين لأنها: (١) تقع فوق نطاقات الانسياب (أستينوسفير) المرتفعة الحرارة؛
(٢) ولأن صخور نطاق الانسياب بها نسبة مئوية ضئيلة من ثانى أكسيد السيليكون SiO_2 ؛
(٣) ولأن الألواح المحيطية تتباعد مسببة تصاعد صخور نطاق الانسياب الحارة حتى
تنصهر بفعل تخفيف الضغط عنها مكونة صحارة تستمر فى الارتفاع. وهذه الصحارة

عالية الحرارة ذات لزوجة قليلة وبازلتية ويسهل للغازات التسرب منها (الشكل ٧-٢). وتضم مراكز الانتشار جميع العناصر التي تؤدي إلى الثورة الآمنة للصهارة.

وتقوم نطاقات الانضواء بإثارة من ٧-١٢٪ من جميع الصهارة. ويحمل اللوح المنضوى إلى أسفل قشرة بازلتية بها رواسب مشبعة بالماء إلى مناطق أشد حرارة (الشكل ٧-٢). ويخفض الماء الموجود درجة انصهار الصخر. وتذيب الصهارة البازلتية الصاعدة نسبيا بعضا من القشرة القارية التي تمر خلالها. وهذا يضيف انصهارا جديدا لمركبات مختلفة إلى الريشات (النافورات) المرتفعة من الصهارة. وكل ريشة ترتفع لها تركيب كيميائي فريد ولكنها تميل أساسا إلى الزيادة: (١) في النسبة المئوية لثاني أكسيد السيليكون SiO_2 ; (٢) في اللزوجة، (٣) في إمكان انفجار الصهارة بالتشبث بالغازات فيها بشدة.

والصدوع التحويلية لا علاقة لها بالظاهرة البركانية إلا قليلا، ويمكن إدراك ذلك بالتفكير في الأبعاد الثلاثة. ففي الصدع التحويلي ينزلق اللوحان قبالة بعضهما في مستوى أفقي وفي كل الأوقات يحافظ على وجود غطاء فعال فوق نطاق الانسياب الحار أسفله.

ومن وجهة نظر الكوارث البركانية تتضح الفوارق. فالبراكين المحيطية آمنة نسبيا، بينما براكين مناطق الانضواء بما فيها من صهارة من الأنديسايت والريولايت متفجرة وخطيرة. وللأسف، يميل الناس إلى التجمع حول الحواف الشاطئية للقارات حيث تنشط معظم البراكين الخطيرة.

ويفكر الناس عادة فيما إذا كان البركان الواحد نشيطا أو ساكنا أو منطفئا. ونظرا للأمل الكبير في أن يكون البركان خامدا (منطفئا)، ولصلاحيه الأرض المحيطة به للاستثمار يخطئ الكثيرون عندما يحسبون البركان ساكنا. ولكن عليك أن تتأمل ما يلي: أن منطقة الانضواء تستغرق عشرات الملايين من السنين وأن منطقة براكينها نشيطة على طول الزمن. وربما ظل البركان الواحد نشيطا لمئات الآلاف حتى عدة ملايين من السنين. رغم نومه لعدة قرون بين ثوراته. وهناك قاعدة مفادها أن البركان إذا كان حسن الشكل جيل المخروط فهو نشيط. فالشكل الجميل خطير.

البراكين ومراكز الانتشار

تحدث معظم الظاهرة البركانية على الأرض على طول أنظمة سلاسل الجبال المحيطية حيث ينتشر قاع البحر. وترتفع صخور الوشاح الصلبة ولكنها حارة ولدنة إلى أعلى في مناطق الضغط المنخفض حيث تسيل ٣٠-٤٠٪ من الصخور وتتدفق على شكل صهارة بازلتية. وتنساب من الأخاديد المنتشرة في العالم صهارة تكفى لإيجاد ٢٠ كم^٢ من القشرة المحيطية البازلتية الجديدة كل عام. وجميع هذه النشاطات البركانية تقريبا تحدث تحت سطح البحر ولهذا تصعب رؤيتها. ونتعجب حين نشاهد الجبال البركانية العالية والجميلة على حواف القارات ولكن حجم الصهارة المتدفقة قليل بالمقارنة بمثيله في مراكز الانتشار.

آيسلاند

وآيسلاند هضبة بركانية كونتها الحمم البازلتية المندفعة من بقعة حارة تحت مركز انتشار وسط المحيط الأطلنطي. وهذا البلد يماثل حجمه حجم ولاية جورجيا؛ منه حوالي ١٣٪ من مساحته مغطى بمثلجات وثلثه مكون من براكين نشيطة. وفي أثناء ١,٠٠٠ سنة تقريبا من السجل البشرى تثار البراكين كل خمس سنوات في المتوسط. ولا تحدث وفيات في معظم ثورات البراكين في آيسلاند، ولكن لكل قاعدة شواذ.

ثورة الشق في عام ١٧٨٣

في صيف عام ١٧٨٣ ثارت أعظم حمم تدفقت في الزمن التاريخي بالقرب من لاكي. وفي صباح يوم ٨ يونية ١٧٨٣، أى بعد أسبوع من الزلازل انفتح شق طوله ٢٥ كم (١٦ ميلا) وظل يطفح حمما بازلتية لمدة ٥٠ يوما. وكان حادث لاكي ثورة عجيبة لشق حيث تدفقت الصهارة بقوة ٥٠٠٠ م^٣/ثانية. ولسهولة تصور هذا الحجم من الصهارة عليك أن تعرف أن أقوى نهر في العالم وهو نهر الأمازون يفرغ في المحيط الأطلنطي

حوالى ضعف هذا الحجم. وعندما انتهت الثورة دفنت منطقة مساحتها ٥٦٥ كم^٢ (٢١٨ ميلا مربعا) تحت حمم بازلتية حجمها ١٣ كم^٢ (٣ أميال مكعبة). وبلغ حجم الرماد والشذرات الأكبر المحمولة جوا حوالى ٠,٣ كم^٢ أخرى.

كانت ثورة ٥٠ يوما مصحوبة بتسرب كميات هائلة من الغازات التى غمرت آيسلاند وكثيرا من دول شمالى أوروبا فى ضباب جاف أو غيام أزرق. وكان هذا الغيام غنيا بثانى أكسيد الكبريت SO₂ (وهو أحد المكونات المرئية فى ضباب المدن حاليا) وكميات هائلة غير عادية من الفلورين- وهذه الغازات أبطأت من نمو الحشائش وزادت من محتواها من الفلورين، مما أدى إلى نفوق ٧٥٪ من خيول وأغنام آيسلاند و٥٠٪ من ماشيتها. وأنهكت المجاعة الناجمة عن ذلك شعب آيسلاند، ومات حوالى ٢٠٪ من تعداد سكانها البالغ ١٠,٠٠٠ نسمة. وفى عالم اليوم ذى الاتصال الفورى والنقل الجوى السريع يمكن تجنب مثل هذه الوفيات.

الفيضان الجليدى فى ١٩٩٦ : الجمع فى القراءة بين كلمات المجلدة (المثلجة) والصحارة فى جملة واحدة شىء غريب. فهما مادتان يبدو أنهما متنافرتان. وعندما تتحرك الصحارة وهى متصلة بالجليد تحدث أشياء غير عادية.

بدأت فترة من الزلازل فى جنوب شرقى آيسلاند فى يوم ٣٠ سبتمبر ١٩٩٦ على شكل شق انفتح على طول مركز انتشار وسط المحيط الأطلنطى تحت مجلدة قاتناجوكال التى تغطى ١٠٪ من مساحة آيسلاند. وفى يومين سالت الصحارة خلال الشق فى القمة الجليدية البالغ سمكها ٦٠٠ متر (٢٠٠٠ قدم) دافعة البخار والغازات الأخرى لعدة كيلو مترات فى الغلاف الجوى. وتدفق الماء السائل تحت المجلدة ليصل إلى بركان جريمسفوتن المغطى بالجليد، حيث تجمع فى كالديرة البركان. وبلغ حجم الماء السائل حوالى ٤ كم^٣، ولكن فى يوم ٥ نوفمبر رفع الماء المتصاعد المجلدة فتدفق فيضان جليدى بمعدل ٤٥٠٠٠ م^٣/ث (١٦٠٠٠٠٠ قدم مكعب فى الثانية). وتدفق الماء لمدة يومين تدفقه فى ثانى أكبر أنهار العالم، ثم هداً بعد أن ساق إلى الشاطئ كتلا من الجليد تبلغ ١٠٠٠ طن فى مجرى النهر القصير الأجل. ودمر الماء المتدفق من الفيضان الجليدى والكتل الجليدية أطول الكبارى فى آيسلاند وخطوط الهاتف الرئيسية وأحد الطرق.

بحيرات كيلر فى الكامبيرون فى افريقيا

تبدأ مراكز الانتشار عادة على شكل أخاديد ثلاثية الألسنة تتقابل فى نقطة اتصال ثلاثية (الشكل ٢-٢٦). وفى شمال شرقى افريقيا انتشر لسانان فى الأخدود وتباعدة بالقدر الكافى لإيجاد البحر الأحمر وخليج عدن، بينما أغلق اللسان الثالث حتى الآن ليفتح وادى أخدود شرقى افريقيا فى حوض محيط جديد آخر (الشكل ٢-٢٧). فالأخاديد المغلقة التى لا تفتح بالقدر الذى يسمح بتكوين مراكز انتشار شائعة (مثال الشكل ٧-٣). فإذا فشل الأخدود فى فتح حوض محيط جديد، فهل يتوقف كل نشاطه؟

وتقع الكامبيرون بالقرب من خط الاستواء فى غربى افريقيا. وتقع فيها سلسلة من البحيرات التى كانت فوهات للبراكين وتتجه إلى الشمال الشرقى. ومالت الأمطار الغزيرة هذه البحيرات وتضافرت مع سخونة الحرارة لتفرش بقاع البلاد بالخضرة. وبحيرة نيوس واحدة من هذه البحيرات البركانية وقد امتلأت بالماء الجميل الأزرق العميق. ويبلغ عمر هذه الظاهرة البركانية الطبوغرافية العالية عدة مئات من السنين فقط. تفجرت فى صخور البلاد بانفجار الغازات البركانية ويبلغ أقصى اتساع لها ١,٩٢٥ مترا (٦,٣١٤ قدما) وعمقها ٢٠٨ مترا (٦٨٢ قدما).

وفى الساعة ٩,٣٠ من مساء يوم ٢١ أغسطس ١٩٨٦ دمدم صوت راعد فى إقليم بحيرة نيوس عندما تجشأت فوهة البحيرة كميات هائلة من الغاز واجتاحت الوديان المجاورة. وبلغ سمك الأنهار الكثيفة من دخان الغازات حوالى ٥٠ مترا (١٦٥ قدما) ومعدل تدفقها ٤٥ ميلا/ الساعة. وامتدت السحابة المتعلقة بالأرض لمسافة ٤٥ كيلومترا (١٦ ميلا) للخارج. وشعر سكان القرى الذين دهمتهم السحابة الغازية بالإعياء والدوار وارتفاع درجة الحرارة والارتباك قبل أن يصيبهم الإغماء. وبعد ٦-٣٦ ساعة أفاق خمسة أشخاص من غيبوبتهم ليجدوا أنفسهم محاطين بالموت: إذ اختنق ١٧٠٠ شخص ونفق ٣٠٠٠ رأس من الماشية ولم يبق على قيد الحياة طائر أو حشرة أو حيوان آخر. ولكن النباتات الوافرة النماء فى الإقليم لم تتأثر بشىء.

ويثير هذا الحادث المفجع عدة أسئلة. ما هو الغاز الذى أحدث الوفيات؟ وما أصل هذا الغاز؟ وكيف تجمع الغاز بمثل هذا القدر الهائل؟ وما الذى حرك هذا الجلمود الغازى؟ وهل من الممكن أن يتكرر هذا الحدث ثانية؟

ما هو الغاز الذى أحدث الوفيات؟ ثانى أكسيد الكربون. فبعد الجهود المضنية التى بذلت للتعرف على الغاز الغريب الفتاك أو المادة السامة التى سببت هذه المأساة تبين أن الغاز هو ثانى أكسيد الكربون. وهو نفس الغاز الذى نشربه من ينابيع المياه الغازية وشراب الصودا والشمبانيا. تشرح درجة سُميَّته فى نيوس النظرية التى وضعها فى عام ١٥٢٩ الطبيب الألمانى ثيوفراستوس من هوهينهايم (باراسيلزوس). تقول نظرية باراسيلزوس: «إن الجرعة وحدها هى التى تقرر السم. فالغاز لا يشترط أن يكون ساما، بل كثرته هى التى تؤدى إلى السم». والحياة فى إقليم نيوس تعرضت لنفس الظروف التى نوجدها فى داخل أسطوانة إطفاء الحرائق فى مبانينا. فطفايات الحريق معبأة بثانى أكسيد الكربون، الذى لا يطفى النار مباشرة؛ لأن ثانى أكسيد الكربون SO_2 أثقل من الهواء ويحرم النار من الأكسجين وبهذا يجعلها تنطفئ. وحياة الإنسان والحيوان فى منطقة نيوس أُخمدت بنفس الطريقة.

وما أصل هذا الغاز؟ له أصل بركانى تسرب إلى أعلى من الصحارة البازلتية السفلى. ففى سلسلة من البراكين طولها ١,٦٠٠ كم (١٠٠٠ ميل) يميل خط براكين الكامبيرون إلى الاتجاه نحو الشمال الشرقى فى عدة جزر بالمحيط الأطلنطى ثم يدخل اليابسة فى شمال شرقى نيجيريا وشمال غربى الكامبيرون. والعجيب أن هذا هو موقع نقطة الاتصال الثلاثية لمراكز الانتشار التى فصلت هذا القسم من النصف الجنوبى للقارة الأم (جوندوانالاند) وساعدت على تمييز أبعاد هوامش المحيط الأطلنطى فى قارتى أمريكا الجنوبية وأفريقيا (الشكل ٧-٣). ولسانا الانتشار المتتاليان لا يزالان يوسعان جنوبى المحيط الأطلنطى. ويشغل الأخدود المخلق خط البراكين الذى يضم فوهة البركان التى كونت بحيرة نيوس؛ فليست جبلا بركانيا، بل فوهة انفجرت فى صخر الأساس بفعل الانفجارات الغازية الكبيرة. والنشاط البركانى ليس نتيجة انتشار قاع البحر بل نتيجة انفتاح قاع المحيط المؤقت وليس الشامل.

كيف تجمع الغاز بمثل هذا القدر الهائل؟ فالبحيرات بطبيعتها كتل متطابقة من الماء. فطبقات الماء فيها مختلفة في الكثافة، يتكدس بعضها فوق بعض. (وهذا هو نموذج مبسط عن اختلاف الكثافات الذي سبق أن ناقشناه عن الأرض كلها في الفصل الثاني). فتانى أكسيد الكربون الذي تسرب من طبقة صحارة البازلت في العمق تسرب إلى الطبقات السفلى من بحيرة نيوس وامتصته الطبقة السفلى الثقيلة من الماء واحتفظت به تحت ضغط الطبقات العليا من الماء (الشكل ٧-٤). وفي حادث يوم ٢١ أغسطس ١٩٨٦ تسرب حوالى بليون متر مكعب من الغاز في حوالى ساعة؛ فكان أشبه شىء بفوران زجاجة شمبانيا هائلة الحجم، حيث أدت إزالة الصخور إلى انخفاض الضغط والسماح لثانى أكسيد الكربون بالخروج على شكل نهر طافح. وعندما بدأ ثانى أكسيد الكربون يتسرب من بحيرة نيوس، اضطرب ماء البحيرة فقل الضغط وسمح بتسرب حوالى ٦٦٪ من الغازات المذابة. وبعد الحادث انخفض منسوب البحيرة بمقدار متر واحد وتلون الماء بلون الطين البنى وتحركت النباتات الميتة الراكدة فى القاع.

وما الذى حرك هذا الجلمود الغازى؟ عرضت عدة مقترحات للإجابة على هذا السؤال؛ منها الثورة البركانية والانزلاق الأرضى والزلازل واضطرابات الرياح، وتغير درجة حرارة الماء مع ما ينتج عن ذلك من تقلب طبقات الماء فى البحيرة. والجدير بالذكر أن حدثا مشابها لهذا وقع قبله بسنتين فى بحيرة مونون فى يوم ١٥ أغسطس ١٩٨٤. وكان حادثا مشابها إلا أن القتلى فيه كان عددهم ٣٧ شخصا. ووقع الحادثان فى شهر أغسطس وهو وقت أقل استقراراً فى مياه البحيرات فى الكامبيرون. فهل كانت محض صدفة أم كان تقلبا عاديا لماء البحيرة أثناء فصل الأمطار؟

وهل من الممكن أن يتكرر هذا الحدث ثانية؟ بالتأكيد. فالغاز المتسرب من بحيرة نيوس خلف وراءه ٣٣٪ من ثانى أكسيد الكربون، وتسرب أكثر منه بانتظام من قاع البحيرة. وفى حوالى ٢٠ عاما يمكن أن يتشبع ماء البحيرة ثانية بثانى أكسيد الكربون. ويمكن أن تحدث نفس الوفيات ثانية ما لم تتخذ الإجراءات الوقائية. ويمكن إنشاء شبكة من المضخات لتسحب ببطء وبصفة مستمرة ماء القاع المشبع بثانى أكسيد الكربون وتضخه فى مجارى المياه السطحية. وهذا يمنع تركيز ثانى أكسيد الكربون من التجمع حتى مستوى الانفجار.

البراكين فى مناطق الانضواء

تبلغنا الصحف والتلفاز عن الثورات البركانية الفتاكة فى براكين جاليراس فى كولومبيا ومونت أنزين فى اليابان وجبال بيناتيبوبو ومايون فى الفيلبين وجبل سانت هيلانة فى واشنطن وبوبوكاتيبيتل فى المكسيك وتلال سوفريير فى مونتسيرات. وهذه هى جميع براكين مناطق الانضواء ذات أكبر الأضرار بالإنسان. وبعض الأقاليم المحيطة ببراكين مناطق الانضواء ذات كثافة سكانية عالية وتشعر بغضب هذه الثورات. وكذلك تضر بالطقس، نظرا إلى أن هذه البراكين تقع على سطح الأرض فهى تثر مباشرة فى الغلاف الجوى (انظر الفصل التاسع).

وعندما يصل لوح الانضواء المحيطى إلى عمق حوالى ١٠٠ كم (أكثر من ٦٠ ميلا) تتكون الصهارة وترتفع إلى السطح (الشكل ٧-٥). والسبب المبدئى لتكون الصهارة هو أن اللوح المنضوى يحمل غطاء من الرواسب والماء والمعادن المتحدة مع الماء. والماء ولو بكميات ضئيلة يساعد على إذابة الجزئية بخفض درجة الحرارة حتى تنصهر صخور القشرة الأرضية فى الوشاح العلوى. كما يحرك اللوح المنضوى الوشاح رافعا الصخور الحارة فى العمق مما يحدث فيها الانصهار بتخفيف الضغط.

وتتم عملية الانصهار جزئيا؛ إذ تؤثر فقط على المعادن ذات درجة الانصهار المنخفضة. وعندما يرتفع هذا المنصهر جزئيا يصهر بدوره جزءا من القشرة الأعلى منه لينتج صهارة ذات تركيبات متنوعة (الشكل ٧-٦) وتعتمد تركيبات الصهارة على كمية الصخر المنصهر من القشرة التى تتحد مع الصهارة المرتفعة. وعموما، يزيد المحتوى من ثانى أكسيد السيليكون SiO_2 والماء مما يزيد من قدرة الصهارة على الانفجار. ويمكن تمييز الظواهر المتنوعة لهذه الصهارات التى تصل إلى سطح الأرض عند النظر إلى أحداث بركانية محددة وتوابعها.

سلسلة جبال كاسكيد فى الشمال الغربى المطل على المحيط الهادى

يتكرر حدوث الثورات البركانية فى البراكين المتعددة فى الإقليم الشمالى الغربى من أمريكا الشمالية المطل على المحيط الهادى (الشكل ٧-٧)، وعملية الألواح التكتونية

المسئولة عن هذه البراكين تفسر تماما أسباب الزلازل الكبيرة فى الإقليم - وهى الانضواء. والواقع أن الثورات المتكررة من براكين سلسلة جبال كاسكيد تزودنا بالدليل القاطع لنشاط الانضواء. وانصهار جزء من إسفين الوشاح (نطاق الانسياب) فوق اللوح المنضوى يرجع إلى مساعدة الماء المتسرب من الرواسب المترسبة على اللوح المنضوى. وتذيب الصهارة جزئيا صخور القشرة العلوية كذلك، دافعة صهارة الأنديسايت إلى أعلى. ويتجمع بعضها فى جيوب كبيرة ويبرد تحت سطح الأرض مكونا صخورا جوفية، بينما يثور بعضها متفجرا على السطح.

كم عدد مرات تكرار هذه الثورات الكبيرة؟ والإجابة عن هذا السؤال موثقة فى الدراسة التى أجراها دوايت كرانديل ورفاقه فى عام ١٩٧٥ عن جبل سانت هيلانة. وتفيد التقارير التى قدموها بأن البركان الكبير المرئى تكوّن فى السنوات ٢٥٠٠ الأخيرة. ومنذ ذلك الوقت ويتعرض جبل سانت هيلانة لثورات كبرى كل قرن أو قرنين، ولم يسلم من البراكين الكبرى منذ أكثر من ٥٠٠ سنة (الشكل ٧-٨). فكيف توثقت هذه الأحداث التى حدثت قبل التاريخ؟ هذه العملية هى ذاتها المستخدمة لاستنباط تواريخ الزلازل التى حدثت قبل التاريخ. فالمنحدرات القريبة من البركان تحمل بقايا الأشجار التى أطاحتها الانفجارات البركانية (الشكل ٧-٩). وربما طمرت هذه الأشجار تحت رماد البراكين، ضمن الحمم البركانية أو بأية طريقة أخرى تحفظها. وتبلغنا كذلك تقديرات الكربون المشع بتواريخ هلاك الأشجار بسبب الثورات البركانية التى قضت عليها (الشكل ٧-١٠). ويقول تقرير دراسة ١٩٧٥: «ورغم سكون بركان سانت هيلانة منذ عام ١٨٥٧ فإنه سيثور ثانية؛ وربما كان ذلك قبل نهاية هذا القرن». وتنبأ بذلك التحليل الجيولوجى (الشكل ٧-١١).

جبل سانت هيلانة، فى واشنطن فى ١٩٨٠ : فى أواخر شهر مارس ١٩٨٠ استيقظ بركان جبل سانت هيلانة من سباته الذى امتد ١٢٣ سنة. وتحدث عشرات الزلازل ذات القوة ٣ كل يوم عندما تتخذ الصهارة سبيلها نحو السطح. وفى يوم ٢٧ مارس بدأت تحدث انفجارات صغيرة عندما ظهرت طفوح من المياه الجوفية والصهارة. وكان مشهد ثورة البركان يغرى المشاهدين برؤيته. واحتشد الناس عند جبل سانت هيلانة. وتعطلت حركة المرور البطيئة بما يذكر الناس بالزحام فى ساعات الذروة فى

المدن الكبرى. ولكن هذا العملاق المتفجر أخذ يسخن حتى تعرضت حياة جميع المخلوقات للخطر الداهم. وأمرت حاكمة ولاية واشنطن بقفل الطرق المؤدية إلى جبل سانت هيلانة بسدادات الطرق لمنع الناس من الاقتراب منه. واستهجن الناس عملها هذا. وفي الساعة ٨,٢٢ من صباح يوم ١٨ مايو ١٩٨٠ قذف البركان بقمة مخروطه البالغ مساحتها ٤٠٠ متر (١,٣١٣ قدما) في مشهد انفجار مثير تولدت عنه طاقة تزيد ١٠٠ مرة عن قوة جميع محطات توليد القوى في الولايات المتحدة مجتمعة. وكان معظم القتلى وعددهم ٦٢ قتيلا قد تسلوا حول سدادات الطرق لمشاهدة ثورة البركان عن كثب. وتهيئ لنا النظرة إلى تسلسل الانفجار مثالا جيدا لكيفية ثورة البركان الانفجاري (الشكل ٧-١٢).

أولا، اكتسب جبل سانت هيلانة شكله المخروطي الجميل في أواسط القرن التاسع عشر (الشكل ٧-١٢). ففي ١٨٤٣ تكونت قبة غنية بثاني أكسيد السيليكون SiO_2 في قمة البركان. وفي ١٨٥٧ بردت تدفقات من حمم الأنديسايت فوق المنحدرات العالية. ولكن هذه الأحداث أوجدت تقطعا أو ضعفا في مخروط البركان.

ثانيا، في ١٩٨٠ بدأت الصهارة الصاعدة في تغيير شكل البركان (الشكل ٧-١٢ ب). وتعددت أعماق بؤر الزلازل وتراوح عمقها من ١ حتى ٣ كم (٠,٦ حتى ١,٩ ميلا). وكانت الزلازل توضح حقن وتجمع الصهارة. وبصعود الصهارة إلى أعلى بدأ الجانب الشمالي للبركان في الارتفاع. وبزيادة حجم الصهارة كذلك زاد حجم تجمعات المياه الجوفية المتمددة. وكان أثر الزلزال عظيما. فبحلول يوم ١٢ أبريل ارتفعت منطقة مساحتها ٢ كم^٢ (١,٢ ميلا مربعا) على الجانب الشمالي وامتدت ١٠٠ متر (٣٢٥ قدما) للخارج. وتفاقم هذا الموقف غير المستقر، عندما أخذت هذه البقعة الضخمة في الزيادة بمعدل حوالي ١,٥ مترا (٥ أقدام) في اليوم.

ثالثا، في الساعة ٨,٢٢ من صباح يوم ١٨ مايو ١٩٨٠ دهم البركان زلزال قوته ٥,١ وحرك انزلاقا أرضيا/ جلمودا عملاقا، إذ سقطت كتلة حجمها ٢,٥ كم^٣ من الجانب الشمالي للجبل وتدحرجت بسرعة حتى ٢٥٠ كم/ساعة (١٥٠ ميلا/ساعة) (الشكل ٧-١٢ ج). وكان هذا الجلمود كتلة من الصخر المتفتت التي كانت قمة الجبل

وجانبه مختلطة بكتل الجليد والثلج والصحارة والتربة وحطام الأشجار، وبلغت حرارتها الداخلية حوالى ١٠٠ مئوية (٢١٢ ف). وارتطم جزء من الجلمود ببحيرة سبيريت محدثا أمواجا ارتفاعها ٢٠٠ متر (٦٥٠ قدما). وامتطى جزء آخر من الجلمود سلسلة جبال ارتفاعها ٣٦٠ مترا (١,١٨٠ قدما) تقع على بعد ٨ كم (٥ أميال) إلى الشمال؛ ثم استدار وتحرك ٢٣ كم (١٤ ميلا) إلى أسفل التفريعة الشمالية لنهر توتيل (الشكل ٧-١٣). ونتج عن ذلك حطام من مزيج عشوائى من الصخور المحطمة والفتات المتناثر الذى بلغ سمكه ٤٥ مترا (١٥٠ قدما) واتخذ شكل أكمة ارتفاعها ٢٠ مترا (٦٥ قدما) فوق سطح الأرض. وكانت هذه المواد قبل فترة قصيرة قمة للجبل. وفى نفس الوقت الذى انطلق فيه الجلمود تكونت حمم طينية وتدفقت على أودية النهر على شكل جزيئات من الصخور مختلطة بالماء المتكون من الجليد الذائب والثلج من بحيرة سبيريت، ومن باطن الجلمود. واستمرت هذه الردغة فى التكوين والتدفق لعدة ساعات منذ أن بدأت ثورة البركان. وتدفقت الحمم الطينية لمسافات بعيدة (الشكل ٧-١٣) بسرعة تصل إلى ٤٠ كم/ساعة (٢٥ ميلا/ساعة) حاملة معها جلاميد مستديرة ضخمة وهى تتدفق بدرجة سيولة تماثل الأسمنت المبلل.

رابعا، وعندما بدأ الانزلاق الأرضى يفسح الطريق أدى الانخفاض المفاجئ فى الضغط على الصحارة المشبعة بالغازات والمياه الجوفية ذات الحرارة الفائقة إلى حدوث انفجار هائل (الشكل ٧-١٢ د). ودوى الانفجار والموجة بسرعة حتى ٤٠٠ كم/ساعة (٢٥٠ ميلا فى الساعة). ولحق الانفجار بالجلمود السريع وتجاوزه متسابقا فوق أربع سلاسل كبيرة من الجبال، حارقا مساحة قدرها ٥٥٠ كم^٢ بكمية قدرها ١٨,٠ كم^٣ من الصخور البركانية المتفتتة وباعثا دوامة غازية حرارتها ٣٠٠ م (٥٧٢ ف) (الشكل ٧-١٣). وكان الانفجار عبارة عن تدفق للصخور الفتاتية الحرارية. وزادت كثافته عن كثافة الهواء، فكان يمر فوق الأرض كسحابة داكنة مشبعة بالغازات البركانية المضطربة تحتفظ بشذرات صلبة من الصخور وقطع من الصحارة والأشجار الممزقة عالقة فيها: وكانت أشبه شىء بسائل قليل اللزوجة جدا.

خامسا، فتح الانفجار الكبير حلق البركان، ليطفح كتلا فوارة من الصحارة. وتصاعدت الغازات المتوهجة المتسربة بسرعة حاملة معها قطعاً صغيرة من الصحارة

فى ارتفاعات عالية زادت عن ٢٠ كم (١٢ ميلا) أثناء مرحلة بلاينى التى استمرت حوالى تسع ساعات (الشكل ٧-١٢ هـ). وحملت الغازات التى تغلى ١ كم^٢ من الرماد إلى أعلى وإلى الخارج. وحملت أنظمة الرياح المتنوعة حوالى ٢٥ , ٠ كم^٢ من ذلك الرماد فوق الولايات المتحدة على ارتفاعات مختلفة. وتكونت كميات أخرى مقدارها ٢٥ , ٠ كم^٢ من تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية التى قذفها البركان أو التى تساقطت من سحابة الثورة البركانية. بلغت درجات حرارة هذه التدفقات من الصخور الفتاتية الحرارية من ٢٠٠ حتى ٣٧٠ مئوية (٥٧٢ حتى ٧٠٠ ف) وتحركت بسرعة بلغت ١٠٠ كم/ساعة (أكثر من ٦٠ ميلا فى الساعة).

سادسا، يُصلح البركان الآن ببطء ما أفسد من قبة مخروطه التى كانت متناسقة من قبل؛ إذ بنى قبة غنية بثانى أكسيد السيليكون SiO₂ (الشكل ٧-١٢ و). ويستمر نمو هذه القبة فى القرن الحادى والعشرين.

ويبدو جبل سانت هيلانة مختلفا تماما فى هذه الأيام (الشكل ٧-١٤)؛ فقد ذهبت إلى غير رجعة قمة الجبل وحقول الجليد، والغابات والبحيرات. فوديان النهر التى كانت ذات يوم حافلة بالأشجار تراها اليوم مسدودة بحطام البراكين (الشكل ٧-١٥). ولكن النجدة قائمة على قدم وساق. فالبكتيريا تآكل الرواسب الطينية من البحيرات القذرة وتترك الماء عذبا حافلا بأسمك التونة. وأورقت النباتات من جديد فى الأرض القاحلة، وعادت الحيوانات لترعاها. وعادت الحياة تدب فى كل ما أفسد البركان.

فهل كانت الانفجارات البركانية فى جبل سانت هيلانة أحداثا نادرة الحدوث؟ وهل يحتمل وقوع أحداث مماثلة فى براكين أخرى بسلسلة جبال كاسكيد فى حياتنا؟

قمة لاسين، فى كاليفورنيا، فى ١٩١٤-١٩١٧ : ليس بركان قمة لاسين بركانا نمطيا؛ بل هو قبة من الحمم الكبيرة غير العادية (حجمها حوالى ١ ميل^٣) وتتكون من صخور بركانية غنية بثانى أكسيد السيليكون SiO₂ وتماثل القبة النامية فى جبل سانت هيلانة اليوم (الشكل ٧-١٢ ز). فقمة لاسين مبنية فى حطام جبل تهامة الذى كان ذات يوم بركانا كبيرا (الشكل ٧-١٦).

تتكوّن قباب الحمم عندما تكون الصهارة لزجة جدا بحيث لا تستطيع التدفق؛ بل تبرز إلى أعلى وتعمل كسدادة لقناة التوصيل (الشكل ٧-١٧). وتنمو قبة الحمم كثيرا من أسفل عندما تتصلب الصهارة في قاعدة القبة. وربما ترتفع قبة الصهارة عندما تتجمع الصهارة تحتها، وتهبط عندما تنبجس الصهارة من الجانب خلال الشقوق. وربما تنفجر قبة الحمم متفتتة (جبل سانت هيلانة في ١٩٨٠)؛ وربما ترتفع إلى أعلى فوق حافة الفوهة، قاذفة بالصخور الفتاتية الحرارية التي تتدفق على أجناب البركان (جبل أنزين في ١٩٩١)؛ أو تتحجر وتعمل كسدادة تساعد على إنهاء مرحلة الثورة. وأكبر قبة حممية معروفة، تقع في جبل لاسين.

استيقظت قمة لاسين في مايو ١٩١٤ بعدة ثورات بلغت ذروتها في ١٨ يوليو ١٩١٤ بمرحلة كبيرة بعثت فيها سحابة من الرماد إلى ارتفاع ٣,٣٥٠ مترا (١١,٠٠٠ قدم). واستمر النشاط البركاني على نطاق صغير ولكن الأحداث الكبرى لم تعد حتى مايو ١٩١٥. وفي الفترة من ١٦ حتى ١٨ مايو ١٩١٥ اكتظت الفوهة بالصهارة اللزجة التي ارتفعت أعلى من الحافة. وكانت الصهارة من اللزوجة بما منعها من التدفق خارج الحافة، ولكنها تكسرت إلى كتل ساخنة حمراء وتدحرجت على الأجناب إلى أسفل. وفي ١٩ مايو انسكب شريط طويل من الحمم طوله ٣٠٠ متر (١,٠٠٠ قدم) على جانب التل إلى الغرب. بينما في الشرق اتحد الجليد الذائب بفتات الصخور ليبدأ في الحركة على شكل كتل من الحمم الطينية الذي تدفقت إلى الخارج لمسافة ٥٠ كم (٣٠ ميلا). وفي اليوم ذاته وعلى المنحدر الشمالي انشق جانب قمة لاسين، وانفجر تدفق الصخور الفتاتية الحرارية كخليط من الغازات الفائقة السخونة وحطام الصخور المتفتتة والأشجار والماء مدمرة مساحة مثلثة الشكل طولها ٦,٥ كم (٤ أميال) وعرضها ١,٦ كم (ميل واحد) (الشكل ٧-١٨). واستمر النشاط البركاني بمزيد من تدفقات الحمم الطينية والصخور الفتاتية الحرارية؛ وفي يوم ٢٢ مايو انفجرت بعنف سحابة من الرماد على شكل المظلة (المشروم) ارتفاعها ٨ كم (٥ أميال). وظلت لاسين آمنة نسبيا خلال عام ١٩١٦ ولكن في مايو ويونيه ١٩١٧ عاود البركان نشاطه.

في ثلاث سنوات من أربع، شهد شهر مارس بداية النشاط البركاني المكثف. فهل كان ذلك بمحض الصدفة؟ ربما كان كذلك، ولكن من الممكن أن يكون الماء الذائب

من الجليد غطس وتعرض للحرارة فى باطن الأرض وتمدد حجمه مما ساعد على شق قمة لاسين وقلل الضغط الداخلى لكى تبدأ الثورات. وفى العام الخالى من البراكين ١٩١٦ بلغت قمة لاسين من الحرارة ما منع تراكم الجليد عليها.

وفى القرن العشرين شهد بركان سلسلة جبال كاسكيد ثورات متماثلة ذات انفجارات موجهة من الأجانب (تدفقات صخور فتاتية حرارية) وتدفقات حممية طينية بركانية بعيدة المدى (لاهار)، وثورات عمودية كبيرة من الرماد (مرحلة بلاينى). ولحسن الحظ أن تحدث كل من هذه السلاسل من الثورات فى مناطق نادرة السكان. فما هى التوقعات المنتظرة لمثل هذه الثورات بالقرب من المدن والقرى؟

جبل شاستا فى كاليفورنيا : يعتبر جبل شاستا البالغ من الارتفاع ٤٣١٨ مترا (١٤١٦٢ قدما) ثانى أعلى براكين سلسلة جبال كاسكيد (الشكل ٧-١٩). وثالثها ارتفاعا هو جبل شاستينا (٣٥٧٩ مترا أو ١٢٣٣٠ قدما) وهو الجاثم على كتفه. وهذه الكتلة المركبة من الجبال تثير الاهتمام إذ تقف شامخة ٣٠٠٠ متر (١٠٠٠٠ قدم) أعلى مما يجاورها؛ ويراها المشاهد من بعد يزيد عن ١٦٠ كم (١٠٠ ميل). وهو بركان نشيط ثار ١١ مرة على مدى ٣٤٠٠ سنة الماضية بما فيها ٣مرات على الأقل فى ٧٥٠ سنة الأخيرة. وكانت آخر ثورة له فى عام ١٧٨٦ تقريبا.

ومنطقة جبل شاستا يتمتع من يعيشون فيها بجمالها وبمدنها الممتدة على طول قاعدة البركان التى تتنامى. فهل هناك حكمة فى ذلك؟ فالميل السفلى لجبل شاستا عريضة ومنبسطة تسمح لتدفقات الصخور الفتاتية الحرارية بالانتشار بعد أن تهبط من أجانب البركان (الشكل ٧-٢٠). والحمم الطينية كثيرا ما تتدفق فى الأودية التى تقع فيها المدن (الشكل ٧-٢١). وتزودنا سجلات الصخور بالأسباب التى تدفعنا إلى التوقف والتأمل فيما إذا كان من الحكمة البناء هنا أم لا. ويوضح الشكل (٧-٢٢) توزيع حطام الجلاميد منذ ٣٠٠٠٠٠ سنة الممتد على طول ٤٣ كم (٢٧ ميلا) من قاعدة البركان. وهذا الحدث الكارثى رسب حطاما يزيد ثمانى مرات عما فعله بركان جبل سانت هيلانة فى عام ١٩٨٠. وهذه الكتلة المختلطة بالقرب من جبل شاستا هى قاعدة تأسست عليها ثلاث مدن وخزان كبير.

فهل ينصح الخبراء بإقامة حاجز يحدد منطقة براكين سلسلة جبال كاسكيد الخطيرة ولا يسمحون ببناء المدن فيها؟ صرح الجيولوجيون نوايت كرانديل ودونال موللينو وميئير روبين بأنه:

ربما تنخفض مدة الخطورة المحتملة من الثورات فى المستقبل إلى ما يتناسب مع عمر الإنسان أو مع متوسط العمر المتوقع لمبنى محدد أو منشأة. ولكن عند بناء المناطق السكنية والمرافق الأرضية الأخرى يقصد بها أن تدوم لعدة قرون أو ألاف من الزمان.

جبل رينيير فى واشنطن : وجبل رينيير أعلى براكين سلسلة جبال كاسكيد، إذ يبلغ ارتفاعه ٤٣٩٣ مترا (١٤٤١٠ قدما). ويرتفع عن المنطقة المحيطة به من ٢١٥٠ مترا حتى ٢٤٥٠ مترا (٧٠٠٠ حتى ٨٠٠٠ قدم). وهو حارس جميل يراه المشاهد من خلال إقليم سياتل - تاكوما المدنى (الشكل ٧-١١). إلا أن جبل رينيير يقع فى المرتبة الأولى من قائمة الخطر عند كثير من خبراء الجيولوجيا بسبب: (١) الارتفاع الشاهق، (٢) اتساع قمته الجليدية، (٣) كثرة الزلازل، (٤) أنظمة ينابيع الماء الحارة النشطة التى أنهكت الجبل من الداخل. فجبل رينيير يمكن اعتباره كتلة حجمها ٣٣,٦ ميلا مكعبا من الصخر الضعيف البنية تتوجه هامة من الثلج والجليد حجمها ميل مكعب واحد؛ وهذا الجبل البركانى فى طبيعته غير مستقر. وجبل رينيير متنزه وطنى ولا يمكن تنميته بكثافة؛ ويشكل تهديدا أكيدا للمناطق العالية الكثافة السكانية. وربما ينهار الجبل فى كتل من الجلاميد، أو/و الجليد السريع الذوبان فتنهمر منه الفيضانات والحمم الطينية. ويحمل جبل رينيير أكبر نظام لجلدة من أى جبل فى الولايات ٤٩ المنخفضة. ويمكن أن يذوب هذا الجليد بفعل الصحارة التى ترتفع داخل الجبل حتى ولو لم يكن به نشاط بركانى.

ويسفر سجل الصخور عن حمم طينية كثيرة وبعيدة المدى حدثت فى العدة آلاف سنة الأخيرة (الشكل ٧-٢٣). وتحركت تدفقات أوسكولا الطينية منذ حوالى ٥٦٠٠ سنة لمسافة ١٢٠ كم (٧٥ ميلا) فى وادى نهر وايت قبل أن تنتشر فوق منخفضات

بوجيت ساوند وفى داخل بوجيت ساوند. وغطت منطقة أوسع من ١٠٠ ميل مربع بعمق ٢٠ مترا (٧٠ قدما). بدأت تدفقات أوسكولا الطينية على شكل جلمود مشبع بالماء أثناء ثورات قمة جبل رينيير. وتحولت إلى حمم طينية غنية بالصلصال عند تحركها مسافة كيلومترين وهى تحمل كميات من المواد يقدر حجمها ٣,٨ كم^٢ (٠,٩ ميل مكعب) بسرعات تصل إلى ٤٥ ميلا فى الساعة عبر منخفضات بوجيت ساوند. وأصبحت المنطقة المتضررة مأوى الآن لحوالى ١٠٠٠٠٠ نسمة. ولو تكررت حمم طينية فى مثل حجم أوسكولا لقتلت آلاف من البشر. ولكى تتصور ما قد يحدث انظر إلى الحمم الطينية فى أرميرو فى كولومبيا فى عام ١٩٨٥ (الشكلان ٢٨٠٧ و ٢٩-٧)؛ إذ كان حادث أوسكولا أكبر ٤٠ مرة من الحمم الطينية (اللاهارة) فى أرميرو.

ويبلغ عمر تدفقات إليكترون الطينية ٥٠٠ سنة؛ إذ تدفقت فى وادى نهر بيالوب لمسافة ٤٨ كم (٣٠ ميلا) وكذلك فوق منخفضات بوجيت ساوند. والإقليم اليوم مكان مرغوب فى العيش فيه، ويتنامى تعداد سكانه بسرعة وتبنى المنازل على قمة هذه الرواسب من الحمم الطينية. والثورة الكبرى المرتقبة لبركان جبل رينيير ربما جلبت خسائر مذهلة فى الأرواح والممتلكات.

الأحداث والقوى المهلكة فى براكين مناطق الانضواء

وهناك أمثلة مذهلة أخرى تحدثها قوى الانضواء بحيث لا يمكن تجاهلها.

تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية

قليل من الأحداث التى تقع على الأرض ما يخيف مثل السحابة الهائجة الفائقة الحرارة الحاملة للرماد والغازات والهواء التى تقترب منك. ويسجل التاريخ العديد من الحالات لمثل هذه التدفقات من الصخور الفتاتية الحرارية التى تقتل فى كل حادث

آلاف البشر. وتبدأ تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية فى تنويعه من الوسائل (الشكل ٧-٢٤). وتوضح الأمثلة الحديثة أساليب بداية هذه التدفقات الصخرية الفتاتية الحرارية.

جبل مايون فى الفيليبين فى عام ١٩٦٨ : منذ عام ١٦١٦ سجل الخبراء ٤٠ ثورة قاتلة لبركان جبل مايون. وفى عام ١٩٦٨ تولدت تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية عدة مرات (الشكل ٧-٢٥). وفى جبل مايون كثيرا ما تحمل الانفجارات العمودية الرماد وتصعدُ إلى ارتفاع ١٠ كم أو أكثر. ثم تنهار السحابة المثقلة بالرماد والغاز عادة وتتساقط على منحدرات البركان على شكل تدفقات من الصخور الفتاتية الحرارية تتحرك بسرعة تصل إلى ١٢٥ ميلا فى الساعة (الشكل ٧-٢٤ د).

جبل أنزين فى اليابان فى عام ١٩٩١ : فى عام ١٩٩٠ بدأت قبة الحمم تنمو فى جبل أنزين مما جذب إليها أنظار العالم. وعندما نمت قبة الحمم ارتفعت ٩٠ مترا (٢٠٠ قدما) فوق حافة الفوهة تم إجلاء آلاف المقيمين فى القرى ومزارع الشاي حول قاعدة جبل أنزين. وعلى أية حال، أقبل الصحفيون وخبراء الجيولوجيا ليسجلوا الانهيارات العديدة لكتل قبة الحمم من ارتفاع يتراوح بين ٢٠٠ و ٣٠٠ قدم ويشاهدوها وهى تتدحرج على المنحدر على شكل تدفقات صخرية فتاتية حرارية (الشكل ٧-٢٤ أ). وفى الساعة ٤,٠٩ مساء يوم ٣ يونية ١٩٩١ سقطت من قبة الحمم كتلة أكبر من سابقتها بشكل غير عادى وتدحرجت على المنحدر بسرعة ٦٠ ميلا فى الساعة وقتلت ٤٢ شخصا من المشاهدين منهم مصورا البراكين الفرنسيين مورييس وكاتيا كرافت. وفى وقتنا هذا يعتبر جبل أنزين رائدا عالميا فى تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية؛ ومنذ عام ١٩٩١ حدث أكثر من ٧٠٠٠ حادثة.

جبل بيليه فى الفترات ١٩٠٢-١٩٠٣ و ١٩٢٩-١٩٣٢ : استعمر الفرنسيون جزيرة مارتينيك من جزر الهند الغربية الواقعة فى البحر الكاريبى فى عام ١٦٣٥. وكان مناخها المدارى مثاليا لزراعة قصب السكر لإشباع نهم العالم المتنامى لمادة السكر. وفى أقصى شمالى جزيرة مارتينيك يوجد بركان ذو قمة واضحة وارتفاعه ١٣٥٠ مترا (٤٤٣٠ قدما)؛ وأطلق الفرنسيون عليه اسم بيليه بمعنى الأجرد ليصف

المنطقة الجرداء التي دمرتها البراكين وأتت على الأخضر واليابس، كما اتضح من ثورات ١٧٩٢ و١٨٥١.

طفح بركان جبل بيليه عدة تدفقات صخرية فتاتية حرارية فى الفترة من ١٩٠٢ حتى ١٩٠٣ وفى الفترة من ١٩٢٩ حتى ١٩٣٢. بدأ الكثير من هذه التدفقات الصخرية الفتاتية الحرارية على شكل طفوح من الرماد الحار والغازات تفيض من حافة الفوهة بشكل يشبه إناء يغلى ويفور على الموقد (الشكل ٧-٢٤ ب).

وفى عام ١٩٠٣ تصلبت قبة الحمم فى قناة التوصيل المركزية فى بركان جبل بيليه. وارتفعت قبة الحمم إلى أعلى على شكل بروز يرتفع ٣٤٩ مترا (١٤٥, ١ قدما) فوق حافة الفوهة. ولكن يتميز جبل بيليه بتدفقات الصخور الفتاتية الحرارية المتولدة عن الانفجارات الموجهة (الشكل ٧-٢٤ ج). حدث هذا النمط من التدفق فى جبل سانت هيلانة فى ١٩٨٠ وجبل بيناتيوبو فى ١٩٩١ (الشكل ٦-٢٣)؛ ولكن أكثرها فتكا كان فى جبل بيليه فى عام ١٩٠٢.

جبل بيليه، فى مونتينيكي فى ١٩٠٢ : فى مطلع الربيع فى عام ١٩٠٢ بدأ النشاط البركانى. وبدأت الفوهة تمتلئ بالصهارة الشديدة اللزوجة، التى حلت محل ماء البحيرة الذى يغلى خلال شعبتين على شكل حرف ٧ (الشكل ٧-١٦). وظلت الصهارة ذات اللزوجة غير العادية تسد الفوهة. وأحيانا كانت تطفح تدفقات من الصخور الفتاتية الحرارية البالغة السخونة؛ وأحيانا أخرى كانت تنفجر. وفى أواخر أبريل بدا واضحا لكثير من شهود العيان أن هذا الاضطراب أخذ فى الزيادة. وكان يهاجر كل يوم حوالى ٧٠٠ فرد من الرعاة إلى سانت بيير، وهى مدينة جميلة المنظر شيدت مبانيها فى باكورة القرن السابع عشر وكانت مأوى لعدد ٢٥٠٠٠ مواطن. وفى كل يوم كان يغادر ٣٠٠ فرد مدينة سانت بيير التى تبعد ١٠ كم (٦ أميال) عن جبل بيليه. وبعد قليل من ظهيرة يوم ٥ مايو تدفقت كميات كبيرة من الصخور الفتاتية الحرارية فى ريفيير بلانش مدمرة مصنع السكر و٤٠ فردا. وزاد هذا من القلق الذى انتاب سكان سان بيير. وكانت الانتخابات تقترب فى يوم ١٠ مايو وأراد الحاكم ألا يتفرق الناس من كبرى مدن الجزيرة. وكان من المرجح أن تتغير نتائج الانتخابات. وذهب الحاكم مونيت

وزوجته إلى سانت بيير وكلفوا جنود جيش الاحتياط (الميليشيات) بحفظ النظام ووقف هجرة الخارجين من المدينة. وهو قرار جانبه الصواب. ولم تكن هناك انتخابات فى يوم ١٠ مايو على أية حال؛ إذ مات كل الناخبين بما فيهم الحاكم فى يوم ٨ مايو (الشكل ٧-٢٧).

ففى صباح يوم ٨ مايو ١٩٠٢ ارتفعت كتلة ضخمة من الصحارة الشديدة اللزوجة والمشبعة بالغاز إلى قمة الفوهة. وفى حوالى الساعة ٧,٥٠ صباحاً دوت انفجارات حادة سمعت كآلاف المدافع تنطلق وانفجرت فقاعات الغاز الحبيسة ومزقت الصحارة إلى قطع صغيرة. وتحرك هذا التدفق من الصخور الفتاتية الحرارية المبهرة على شكل جلمود متوهج بالحرارة من الغازات الملتهبة ووميض من الشذرات البركانية، أسماها الفرنسيون «السحابة المتوهجة». وتحركت الكتلة عندما تعلقت جزيئات الصحارة الصلبة فى الغازات. واستمدت قوتها من: (١) الانفجار الابتدائى، (٢) الجاذبية، (٣) الغاز المستمر فى التسرب من جزيئات الصحارة المحمولة جواً مثل الفشار، (٤) الاضطراب الداخلى، (٥) حرارة الهواء المختلط بالتدفق وهو يتحرك إلى الخارج ويهبط إلى أسفل. وتقدر الحرارة عند الفوهة بحوالى ١٢٢ مئوية (٢٢٠٠°ف)، وما زالت السحابة المتوهجة تزيد حرارتها عن ٧٠٠ م (١٣٠٠°ف) عندما ضربت سانت بيير. أما أثقل جزء وأخطره من السحابة المتوهجة فقد تدفق فى ريفيير بلانش (النهر الأبيض). وتمددت السحابات الرمادية - الغازية المصاحبة فى الاتساع حتى اجتاحت سانت بيير (الشكل ٧-٢٦).

فماذا حدث لسانت بيير؟ تحركت السحابة المتوهجة بسرعة الإعصار الرعدى الممطر حوالى ١٩٠ كم/ساعة (١١٥ ميلاً فى الساعة)، ولكنها كانت أشد كثافة من الإعصار بما تحتوى من رماد. ورفعت السحابة المتوهجة السقوف وأطاحت بمعظم الحوائط العمودية على مسارها ولوت القضبان الحديدية وغلفت جذوع الأشجار بألواح المعادن التى هوت من السقوف. وفى ظرف دقيقتين تحولت سانت بيير من مدينة مدارية خضراء إلى أطلال مغطاة بطبقة سمكها قدم من الرماد الرمادى والرماد المشبع بالطين فوق الجدران وجذوع الأشجار التى ظلت قائمة.

وماذا قتل الناس؟ جاء الموت الخاطف من أحد الأسباب التالية: (١) الارتطام الطبيعي، (٢) استنشاق الغازات الفسفورية، (٣) الحرائق. وزاد عدد اللاجئين الفارين من سانت بيير عن ٣٠٠٠٠ نسمة ولم ينج منها إلا شخصان. كان أحدهما أوجاست سيياريس، وهو مجرم سفاح يبلغ عمره ٢٥ سنة؛ وكان مسجوناً في زنزانه بدون نوافذ وعلى بابه حاجز شبكي صغير. وعندما دخلت الغازات الساخنة في زنزانه سقط على الأرض وعانى من حروق شديدة في ظهره ورجليه. وبعد أربعة أيام تم إنقاذه، ثم أمضى بقية عمره يعرض البثور والحروق في بدنه في عروض جانبية في السيرك على أنه سجين سانت بيير.

وهل كان آمناً من كان على متن زورق؟ كلا. إذ كانت السحابة الحارة الملهبة مستمرة في خطورتها حتى ضربت الماء. ولم ينج من ١٨ زورقاً كانت في الميناء إلا زورق بخارى بريطاني اسمه رودام، رغم أنه احترق بشدة ومات ثلثا أفراد طاقمه.

واستمرت السحابة المتوهجة تزحف خارج جبل بيليه. واجتاحت سانت بيير مرة ثانية في يوم ٢٠ مايو ولكن لم يصبها أكثر مما حاق بها. وفي يوم ٣٠ أغسطس تدفقت السحابة المتوهجة نحو الجنوب الشرقي وأحرقت معظم مودرن روج وأربع مدن أخرى، وقتلت ٢٠٠٠ شخص. ورغم هذا الحادث المأساوي فلا تزال المنطقة اليوم حافلة عن آخرها بالسكان من جديد.

الحمم الطينية

والحمم الطينية العالية الزوجية يمكن أن تحدث خسائر كبيرة مثلما حدث في فيزوف في عام ٧٩ ميلادية وما قد يحدث مستقبلاً في منطقة سييتل - تاكوما. وأفظع الأحداث في زمننا هذا ما حدث في كولومبيا.

نيفادو ديل رويز في كولومبيا في ١٩٨٥ : تقع نيفادو ديل رويز على ارتفاع ٥٤٠٠ متر (أكثر من ١٧٧٠٠ قدم) حيث يصبح الهواء بارداً. وعلى قمة الجبل منطقة مساحتها ١٩ كم^٢ مغطاة بقمة جليدية سمكها ١٠ - ٣٠ متراً (٣٠ - ١٠٠ قدم)

وحجم الجليد فيها حوالى ٣٣٧ مليون متر مكعب. وفى نوفمبر ١٩٨٤ استيقظ البركان بدرجة نشاط محدودة.

وبعد عام أى فى يوم ١٠ نوفمبر ١٩٨٥ أنبأت الهزات الأرضية المتناغمة (الزلازل) عن ثورة بركانية كبيرة قادمة. وفى الساعة ٩,٣٧ مساء ارتفع عامود بلاينى عدة أميال فى الفضاء. وبدأ حطام الصخور الفتاتية الحرارية الساخن يستقر فوق القمة الجليدية فأدى إلى إذابتها. وفى الساعة ١٠,٠٠ مساء ساهمت الأبخرة البركانية الكثيفة والجليد الذائب وحطام الصخور الفتاتية الحرارية مجتمعة فى تدفق الحمم الطينية على السفوح الشرقية حتى شينشينىا مدمرة المنازل وقاتلة ١٨٠٠ شخص.

ولكن ما خفى كان أعظم. فبتزايد الثورة زاد نوبان الجليد مما زاد من تدفق حمم طينية أكثر على الوديان الضيقة فى الغرب، فوق المراوح الطينية عند قاعدة الجبل وفى السهل الفيضى فى ريو ماجدالينا (الشكل ٧-٢٨). وفى الساعة ١١ مساء وصلت أول موجة من الحمم الطينية الباردة إلى مدينة أرميرو ذات التعداد ٢٧٠٠٠ نسمة. وتحركت هذه الحمم الطينية مسافة ٤٥ كم (٢٨ ميلا) من قمة الجبل وتساقطت من ارتفاع ٥٠٠٠ متر (أكثر من ١٦٤٠٠ قدم). وتحركت الحمم الطينية فى الوديان الضيقة ذات الجوانب الحادة الميول بسرعة حتى ٤٥ كم/ساعة (٢٨ ميلا فى الساعة)، وتباطأت سرعتها عند تدفقها فوق المراوح الطينية المنبسطة.

وبعد الساعة ١١ مساء ببضع دقائق أنذرت الضوضاء الصاخبة عن اقتراب موجات متتابعة من الحمم الطينية الحارة والباردة. ودُفن معظم سكان أرميرو، ومنهم ٢٢٠٠٠ مواطن تحت الحمم الطينية ذات السمك ٨ أمتار (٢٦ قدما) (الشكل ٧-٢٩). وهؤلاء الضحايا ٢٢٠٠٠ إما أنهم راحوا ضحية اجتياح الحمم الطينية لهم أو ضحية الاختناق بالغازات.

ولكن نجا من الموت ٥٠٠٠ نسمة. فكيف كان ذلك؟ كانوا يركبون الارتفاعات العالية فوق المنحدرات. والجدير بالذكر أن أحد مشاهد الفيديو عرض رأسا لرجل يتكلم تبين أنه واقف على قمة أحد التدفقات الطينية بعد أن دهسته الحمم الطينية وغمرته حتى ذقنه وهو يحاول الهروب إلى أعلى المنحدر. ولو تباطأ خطوة واحدة لدفن تماما واختنق. ولكنه تخلص بأعجوبة ولم يصبه أذى.

كانت ثورة بركان نيفادا ديل رويز صغيرة في الواقع. ولولا نوبان القمة الجليدية لما حدثت أضرار. وكانت أحداث الحمم الطينية في ١٩٨٥ تقريبا نمطا متكررا لأحداث فبراير ١٨٤٥. فنفس الأماكن دفنتها نفس الأنماط من الحمم الطينية. ففي ١٨٤٥ حصد الموت ١٠٠٠ نسمة؛ بينما حصد في كولومبيا في ١٩٨٥ حوالي ٢٤٠٠٠ نسمة بسبب نمو الكثافة السكانية في المنطقة.

البقع الحارة

والبقع الحارة (النقط الساخنة)^(*) هي كتل أو ريشات من صخر الوشاح الذي يرتفع ببطء ليكون براكين على سطح الأرض. وتزيد درجة حرارة الصخر الذي يرتفع عن الصخر المحيط به بحوالي ٢٠٠ مئوية (٥٧٠° ف) في مركز الريشة وحوالي ١٠٠ مئوية (٢١٢° ف) على طول الحافة الخارجية لرأس الريشة. ولكن هذا الفارق في درجات الحرارة يمكنه من تقليل اللزوجة بالقدر الكافي الذي يسمح بالبدء في الارتفاع نحو السطح. ويمكن تصور معظم البقع الحارة على أنها ريشات ترتفع وتعمل لمدة حوالي ١٠٠ مليون سنة.

والنقط الحارة لا تتحرك بقدر ما تتحرك الألواح التكتونية، وتستخدم كنقاط إشارية تساعد على وضع خرائط لحركة الألواح (الشكل ٢-١٥). وتحدث تحت المحيطات، وتحت القارات (مثل يلوستون)، وفي وسط الألواح (مثل هاواي)؛ وكجزء من مراكز الانتشار (مثل آيسلاند). وفي السبعينيات من القرن العشرين أجريت دراسة حول البقع الحارة التي تكون قبابا بركانية مرتفعة بأقطار تزيد عن ٢٠٠ كم (١٢٥ ميلا). واعدت الدراسة ١٢٢ بقعة حارة في العشر ملايين سنة الأخيرة (الشكل ٧-٣٠)، و٥٣ بقعة حارة تحت أحواض المحيطات، و٦٩ تحت القارات.

(*) نقطة (بقعة) ساخنة hot spot منطقة انصهار محدودة في الوشاح قرب قاعدة الليثوسفير. (ما هي الجيولوجيا؟ - المترجم)

ويقع تحت اللوح الأفريقي أكبر عدد من البقع الحارة. وتباطأ انجراف أفريقيا بارتطامها بأوراسيا خلال ٣٠ مليون سنة الأخيرة. وربما عمل تباطؤ اللوح الأفريقي كغطاء حرارى يركز حرارة الوشاح تحته. وبالإيقاف الفعال لأفريقيا من إجراء حركات أفقية كبيرة تضاعفت حركة أمريكا الجنوبية غربا. وتحرك كذلك غربا مركز انتشار وسط المحيط الأطلنطى تاركا خلفه بعض البقع الحارة مثلما حدث فى تريستان دا كانها وسانت هيلانة (الشكل ٧-٣٠).

ويعنى وجود بقعة حارة تحت مركز انتشار، إمكان ثورة بركان أكبر من الصهارة البازلتية. فمثلا فى آيسلاند تتزايد صهارة نطاق الانسياب فى عملية الانتشار بفعل صهارة الوشاح الأعرق لتكوّن قدرا هائلا من الصخور البازلتية. فريشة الوشاح تحت آيسلاند هى اليوم أشد البقع الحارة فى الأرض. وكونت الريشة المرتفعة قشرة أرضية تحت آيسلاند تزيد من ٤ حتى ٥ أضعاف عن السمك العادى.

البراكين فى البقع الحارة فى المحيطات

أكثر ما تعرف البراكين فى البقع الحارة فى المحيطات حيث تتزايد الكثافة السكانية، مثل هاواى.

هاواى. يبلغ قطر البقعة الحارة فى هاواى ٨٠ كم (٥٠ ميلا)، حسبما حددتها بؤر الزلازل على عمق ٦٠ كم (٣٧ ميلا). وعندما ترتفع الصهارة إلى السطح، تنز كذلك من الشقوق الأفقية والمائلة وتغذى البراكين فوق إقليم فسيح. وعموما تعتبر البراكين فى البقع الحارة بالمحيطات آمنة نسبيا وتعمل على جذب السياح لمشاهدة المناظر الطبيعية الخلابة. ولكن هناك شواذاً لهذه القاعدة.

الأحداث الفتاكة فى ١٧٩٠ : رغم أن أقل من ٥ ٪ من صهارة هاواى تدفقت على شكل مواد صخرية فتاتية حرارية، فإن هناك أحداثاً فتاكة نادرة. ففي عام ١٧٩٠ توقفت الفرق المتحركة من جيش الملك كويا، وقُتِلَ عددٌ كبيرٌ من الناس بسبب انفجار بركان كيلويا. إذ كان الجيش يمر بالمنطقة ولكن الثورات البركانية أوقفتهم. وبعد انتظار

دام ثلاثة أيام انقسم إلى ثلاث فوق كل منها يتكون من ٨٠ فردا. وبينما الفرق تتحرك في اتجاه الجنوب الغربى عبر ممر وعر في كيلويا دهمتها الكارثة. فانفجر عامود إلى أعلى بموجة قاعدية تكتسح المحيط الخارجى على شكل سحابة كثيفة قاعدية. ويمكن للموجات القاعدية أن تنطلق بسرعة الإعصار الرعدى الممطر عندما تندفع كتل من الماء الحار والغازات المتعلقة بالأرض مصحوبة بشذرات من الصهارة أو بدونها. ولحقت الموجة القاعدية فى ١٧٩٠ بالفرقة الوسطى لجيش كويا فأردتهم جميعا قتلى. واحتشد الضحايا يمسك بعضهم بعضا ليقاوموا قوة انفجار الإعصار ولكن الغازات الحارة لفحت ربائهم وأحرقت الحرارة الشديدة جلودهم. ودهمت الموجة القاعدية الفرقة القائدة ولكنها أنهكتها ونجا منها الكثيرون. أما فرقة المؤخرة فكانت بعيدة عن الانفجار ونجت من الموت والإصابة. وهذا الحدث التاريخى جدير بالتذكر بالنسبة لمشاهدى هذه الثورات فى هاواى اليوم - وعلى أقل تقدير عليهم الالتزام بالأراضى العالية أثناء مشاهداتهم للبراكين.

البراكين فى البقع الحارة فى القارات

ربما تذكرنا ثورة بركان كبير بجبل مرتفع تنبعث منه انفجارات قوية. ولكن ليست هذه الانفجارات أقواها. فالثورات الكبرى الحقيقية تنبعث منها صهارة تبلغ من الضخامة حدا يجعلها تترك ثقبا هائلا يفوق حجم الجبل هو كالديرا عملاقة. وفى الولايات المتحدة ثلاث كالديرات عملاقة نعرف أنها ثارت فى المليون سنة الأخيرة هى: كالديرا فيلز فى نيومكسيكو وعمرها حوالى مليون سنة؛ ولونج فالى فى كاليفورنيا وعمرها حوالى ٧٦٠٠٠٠ سنة؛ والمنتزه الوطنى فى بلوستون فى يومينج وعمرها حوالى ٦٠٠٠٠٠ سنة.

ومراكز الثورات الضخمة هذه تحدث عندما تتداخل كميات هائلة من الصهارة البازلتية من الوشاح إلى أعلى فى طبقة القشرة الأرضية التى تعلوها. وهنا تواجه الصخور القارية التى تنصهر فى درجات حرارة أقل. والخليط الناتج من الانصهار يكون صهارة ذات حرارة أقل، ونسبة أعلى من ثانى أكسيد السيليكون SiO_2 ذى

اللزوجة العالية والكثافة الأقل. وتتجمع الصهارة اللزجة الطافية على شكل كتل كبيرة تحت السطح ببضع كيلو مترات.

المنتزه الوطنى فى يلوستون

كوُنت بقعة حارة فى الوشاح ريشة طويلة الأجل تنجرف عبرها قارة أمريكا الشمالية. وتشغل البقعة الحارة موقعا ثابتا نسبيا، بينما تتحرك قارة أمريكا الجنوبية نحو الجنوب الغربى فوقها بمعدل ٢-٤ سم/سنة. وسجلت حركة اللوح فوق البقعة الحارة خلال ١٥ مليون سنة الماضية بطابور من البراكين السطحية يمر عبر سهل نهر سنريك فى إيداهو ويستمر فى يومينج (الشكل ٧-٣١). ويقع المنتزه الوطنى بيلوستون حاليا فوق البقعة الحارة، كما يرقد تحت يلوستون بعمق ٥-١٠ كم (٣-٦ أميال) كتلة كبيرة من صهارة الريولايت.

وفى المليونى سنة الأخيرة حدثت ثلاث ثورات كارثية فى يلوستون منذ مليونى سنة ومنذ ١,٣ مليون سنة ومنذ ٦٠٠,٠٠٠ سنة (الشكل ٧-٣١). وتلك الثورات الهائلة لا تستمر طويلا، بل تصب فى بضعة أسابيع قليلة كميات من صهارة الريولايت لا يمكن تصورها ويتدفق معظمها على هيئة صخور فتاتية حرارية. دفع أقدم حدث ٢٥٠٠ كم^٢ من الصهارة. ودفع أوسطها ٢٨٠ كم^٢ وأحدثها ١٠٠٠ كم^٢. (قارن هذه الكميات من الصهارة بثورة جبل سانت هيلانة فى ١٩٨٠ التى بلغ مجموعها ١ كم^٢). وثورة ١٠٠٠ كم^٢ من تدفقات صخور الريولايت الفتاتية الحرارية يمكن أن تغطى منطقة محيطة بالبركان مساحتها ٢٠٠٠٠ كم^٢ بكتلة من حطام الصخر الفتاتى الحرارى يتراوح سمكها من بضعة أمتار حتى أكثر من ١٠٠ متر (الشكل ٧-٣٠). وهذا الوزن من المواد البركانية قد يؤدى إلى هبوط منطقة مساحتها ٥٠٠ كم^٢ لحفظ التوازن.

وكوُنت ثورة يلوستون الهائلة التى حدثت منذ ٦٠٠,٠٠٠ سنة كالديرا عملاقة طولها ٧٥ كم (٤٧ ميلا) وعرضها ٤٥ كم (٢٨ ميلا). انظر ثانية إلى الشكل (٧-٣١)

وتأمل حجم الكالديرا العملاقة وامتداد تدفقاتها المندفعة من الصخور الفتاتية الحرارية - إذ قضت على جميع الكائنات الحية فى المنطقة ودفنتها بعمق فى ظرف أيام.

تسلسل الثورة : تمر ثورات هذه الكالديرات العملاقة بسلسلة خاصة (الشكل ٣٢-٧). إذ تبدأ بكتلة من صحارة الريولايت ترتفع عدة كيلومترات تحت سطح الأرض فتقوس سطح الأرض إلى أعلى (الشكل ٣٢-٧ أ). وتتجمع كتلة من الصحارة فوق قممها غنية بالمكونات القليلة الكثافة مثل ثانى أكسيد السيليكون والغازات.

وبعد بضع مئات من آلاف السنين تبدأ ثورة هائلة بأعمدة بلايني تنفث إلى أعلى من الشقوق الدائرية والبيضوية المحيطة بكتلة الصحارة (الشكل ٣٢-٧ ب). وتنحت الصحارة المتسربة الشقوق فتزيد من حجم قنوات التصريف وبذلك تزيد الصحارة المتسربة.

وعندما تشعر الأحجام الكبيرة من الغازات بتخفيف الضغط تبدأ الصحارة فى الطفح من الشقوق بأحجام خيالية (الشكل ٣٢-٧ ج). وتصبح الصحارة كبيرة الحجم بحيث لا يقوى الهواء على حملها ولذلك يتدفق معظمها خارجا من قنوات التصريف على شكل تدفقات صخرية فتاتية حرارية، وهى أسرع طريق لإزالة الصحارة اللزجة المحملة بالغازات.

وعندما تنقلص كتل الصحارة تحت السطح، يهبط سطح الأرض كذلك، مكونا كالديرا عملاقة (الشكل ٣١-٧ د). ويؤدى زوال ١٠٠٠ كم^٢ من الصحارة إلى إيجاد فجوة لحفظ التوازن تملؤها كتل جديدة من الصحارة المرتفعة التى تقوس قاع الكالديرا لتكون قبابا تستعيد نشاطها (الشكل ٣١-٧). ويمكن النظر إلى القباب التى استعادت نشاطها على أنها عملية إعادة التحمل تبدأ فيها الصحارة فى التجمع فى اتجاه الكتلة الحرجة التى تحفز الثورة التالية.

والمناطق الممتدة على طول القباب التى استعادت نشاطها عادة تشغلها البحيرات (الشكل ٣١-٧). تصور أنك تقود سيارتك فى مسافة عدة أميال بين بحيرة يلوستون وفوارة أولد فيثفول، فطوال هذا الوقت تظل داخل الكالديرا العملاقة المنهارة التى ثارت منذ ٦٠٠٠٠٠ سنة. فمتى تحدث الثورة العملاقة القادمة؟

ثورات بركانية عملاقة داخل الألواح

لونج فالى فى كاليفورنيا

يوجد فى لونج فالى - منطقة البحيرات فوق العملاقة فى كاليفورنيا كثير من صخور القشرة الأرضية المنصهرة، رغم عدم وجود بقع حارة نمطية هناك. ومنذ حوالى ٧٦٠٠٠ سنة اندلعت ثورة هائلة قذفت ١٥٠ ميلا مكعبا من الصهارة التى كوّنت تدفقات صخرية فتاتية حرارية غطت منطقة شرقى وسط كاليفورنيا بأكثر من ١٥٠٠ كم^٢ من حطام الصخور الفتاتية الحرارية (المسمى بيشوب طف) (*) بسمك مئات الأمتار. وفور انفجار الصهارة يهبط سطح الأرض حوالى ٢ كم (أكثر من ميل واحد) فى الفجوة ليشكل كالديرا لونج فالى (الشكل ٧-٣٣ ، و٧-٣٤). وتدفق قسم من الصخور الفتاتية الحرارية لمسافة ٦٥ كم (٤٠ ميلا) فى وادى أوينز. وقبل الثورة قدرت كتلة الصهارة ليكون نصف قطرها ١٩ كم (١٢ ميلا) وسقفها تحت السطح بمقدار ٥ كم (٣ أميال) (الشكل ٧-٣٥).

واليوم يقدر نصف قطر كتلة الصهارة ١٠ كم (٦ أميال) وعمق ٨ كم (٥ أميال). وفى الثمانينيات من القرن العشرين ثار اهتمام كبير عندما تكررت الزلازل بشكل توافقى بحيث أحدثت أربعة منها قوتها ٦ بعض الخسائر. والواضح أن الصهارة كانت ترتفع. وفى عام ١٩٨٠ بلغ عمق الصهارة ٨ كم ولكن بحلول ١٩٨٢ ارتفع بعضها خلال ٣ كم من السطح. فهل كان هذا نذيرا بثورة كبيرة؟ وضعت علامات تحذير رسمية ولكن الصهارة توقفت عن الارتفاع وهذا الفزع. ونادرا ما تحدث الثورات العملاقة ولكن هذه البقع الحارة القارية تكررت ثوراتها الصغيرة إلى حد ما. وحدثت فى لونج فالى ثورات منذ ٦٠٠ عاما، وفى بحيرة مونو منذ ١٥٠-٢٥٠ عاما فقط.

(*) طف tuff (١) صخر ينشأ من تماسك الرماد البركانى. (ما هى الجيولوجيا؟- المترجم)

(٢) صخر تقذف به البراكين فيتصلب حولها ويتكون من حبيبات بركانية متماسكة يقل قطرها فى العادة عن ٤ ملليمترات. (معجم الجيولوجيا- المترجم)

وفى مطلع التسعينيات من القرن العشرين بدأت تموت الأشجار فوق جبل ماموث بعد أن ارتفعت كميات كبيرة من ثانى أكسيد الكربون CO_2 من الصحارة التى تحتها فقتلتها. وفى الوقت ذاته استأنفت الزلازل الصغيرة نشاطها وبدأ سطح الأرض فى الارتفاع. وهذه الظواهر يمكن أن تحدث لعدة عقود أو قرون؛ وعلى أية حال، فى الكالديرات الكبيرة لا يعنى ذلك دائما أن الثورة محدقة.

ولكى تمنع النظر فى الكالديرا العملاقة فى لونج فالى عليك أن تلتفت إلى اليسار وأنت راكب المصعد الجبلى فى منتجع الانزلاق على الجليد فى جبل ماموث. فالوادي الجاف الكبير هو الكالديرا (الشكل ٧-٣٤).

المراقبة والإنذار بالبراكين

هل نستطيع مراقبة نشاط البركان وتقديم إنذار مبكر قبل ثورته الكبيرة؟ حدثت قصة نجاح عظيمة فى الفلبين فى عام ١٩٩١ قبل ثورة الذروة فى بركان جبل بيناتوبو فى يوم ١٥ يونيو ١٩٩١. كانت ثورة هذا البركان أكبر ثورة حدثت فى القرن العشرين بالقرب من منطقة مكتظة بالسكان. ويعيش فى دائرة الخطر حوالى مليون نسمة منهم ٢٠٠٠٠ من العسكريين الأمريكين وعائلاتهم.

ففى مارس ١٩٩١ استيقظ بركان جبل بيناتوبو من نوم دام ٥٠٠ عام، عندما ارتفعت الصحارة من عمق ٣٢ كم (٢٠ ميلا) فتسببت فى حدوث آلاف من الزلازل الصغيرة ومكونة ثلاث فوهات صغيرة يتصاعد منها البخار وقاذفة آلاف من أطنان الغازات الغنية بثانى أكسيد الكبريت. وبدأ علماء البراكين والزلازل الأمريكين والفلبينيين برنامجا للمراقبة الدقيقة لتقدير حجم وتاريخ الثورة الكبرى المرتقبة. وفى يوم ٧ يونية بلغت الصحارة السطح، ولكنها كانت فقدت معظم غازاتها (مثل زجاجة الصودا فى المشروبات الغازية) ولهذا نزلت الصحارة ببساطة إلى الخارج لتكون قبة من الحمم (المثال القديم فى الشكل ٧-١٧). وفى يوم ١٢ يونية (يوم استقلال الفلبين) وصلت إلى السطح ملايين الأمطار المكعبة من الصحارة المشبعة بالغاز محدثة ثورات

انفجارية عنيفة. وكان الوقت متيسرا للخروج من مدى القتل للبركان! وانتشرت بسرعة وبأعلى صوت طلب الإسراع فى إجلاء الناس من المنطقة. وأخلا الناس جميعا تقريبا وممتلكاتهم الثمينة المنطقة بسرعة. وفى يوم ١٥ يونية بدأت الثورة الجامحة (الشكل ٣٦-٧). إذ قذفت أكثر من ٥ كم^٢ (١ ميل مكعب) من الصهارة والصخور إلى ارتفاع ٣٥ كم (٢٢ ميلا) فى الغلاف الجوى مكونة سحابة من الرماد وتزايدت حتى بلغ قطرها ٣٠٠ ميل أو يزيد. وحجب الرماد المحمول جواً أشعة الشمس وأحال النهار إلى ليل. وفاضت طفوح التدفقات الصخرية الفتاتية الحرارية والرماد الحار والزجاج الخفاف والغازات على جوانب البركان (الشكل ٦-٢٣)، وملأت الوديان حتى عمق ٢٠٠ متر (٦٦٠ قدما). وعندئذ شاء الحظ أن يأتى إعصار رعدى ممطر (طيفون) فيجرف كميات هائلة من حطام البركان عن منحدره على شكل حمم طينية (لاهار) (الشكل ٦-٢٥).

فكم كان الإنذار المبكر ناجحاً؟ ورغم وفاة ٣٠٠ شخص فكان مقدراً وفاة ٢٠٠٠٠ شخص لو لم تبلغ الإنذارات الفورية. وتشير بطاقة الإحصاء فى برنامج المراقبة من مارس حتى يونية ١٩٩١. أن نفقات قدرها ١,٥ مليون دولار أنقذت أرواح ٢٠٠٠٠ نسمة، وأن ٥٠٠ مليون دولار كانت نفقات إخلاء الممتلكات بما فيها الطائرات. ويا له من نجاح عظيم وتكلفة فعالة.

موجز

تعتبر مراكز الانتشار مواقع مثالية لثورة البراكين، بحيث تصل نسبة الصهارة التى تقذف منها ٨٠٪ من المجموع الكلى للصهارة. وتقع مراكز الانتشار فوق نطاق الانسياب (أستينوسفير)، الذى يخرج الصهارة البازلتية التى ترتفع لتملأ الشقوق بين الألواح المتباعدة. وربما تستغل البراكين البازلتية بنجاح فى كل من مراكز الانتشار، مثل آيسلاند، والبقع الحارة فى المحيطات مثل هاواي.

وتتضم ثورات مناطق الانضواء صهارة بازلتية تشوبها صخور قشرية وتنتج عنها صهارة عالية اللزوجة تحتوى على غازات حبيسة. وتحفل الأنباء بالثورات الانفجارية

(مثل سانت هيلانة وأنزين وبيناتيوبو)، كما تسجلها كتب التاريخ (مثل سانتوريني وفيزوف وكراكاتاو). وليست في الصدوع التحويلية براكين متعلقة بها إلا قليلا.

وتسبب العديد من ثورات البراكين القارية قتل الأرواح وتدمير الممتلكات. ويتدفق حطام الصخور الفتاتية الحرارية والماء على المنحدرات على هيئة حمم طينية بسرعة تصل إلى ٣٠ ميلا في الساعة ولمسافات حتى ٤٥ ميلا تاركة رواسب يبلغ سمكها حتى ١٠٠ قدم مثل جبل رينيير.

ويمكن لتدفقات الصخور الفتاتية الحرارية المشبعة بالغازات أن تفيض بسرعة حتى ١٥٠ ميلا في الساعة وبحرارة تصل إلى ١,٣٠٠ °ف ولمسافات تزيد عن ٣٠ ميلا، مثل جبل بيليه. وقد تنهار المخروطات البركانية وتتبعده حتى ٣٠ ميلا مثل جبل شاستا. وتستطيع الثورات العملاقة في الكالديرات القارية أن تدفع صهارة أكثر ١٠٠٠ مرة من البركان النمطي مثل يلوستون ولونج فالى.

وربما ظل البركان نشيطا لملايين السنين، ولكن تمر فترات تقدر بالقرون بين ثوراته الفردية. والمقياس الزمني للبركان النشط يجب أن يدرسه كل الناس الذين يعيشون بالقرب منه.

ومن الممكن مراقبة البركان وإعطاء إنذار مبكر للتحذير من الثورات الكبرى. ففي بركان جبل بيناتيوبو في الفلبين أنقذ الإنذار المبكر أرواح ٢٠٠٠٠ نسمة.

مصطلحات للمذاكرة

alluvial fan	مروحة طميية
base surge	موجة قاعدية
failed rift	أخدود منهار
jokulhlaup	فيضان جليدي
lava dome	قبة الحمم

nuée ardente

resurgent dome

سحابة متوهجة

قبة منبعثة حديثا

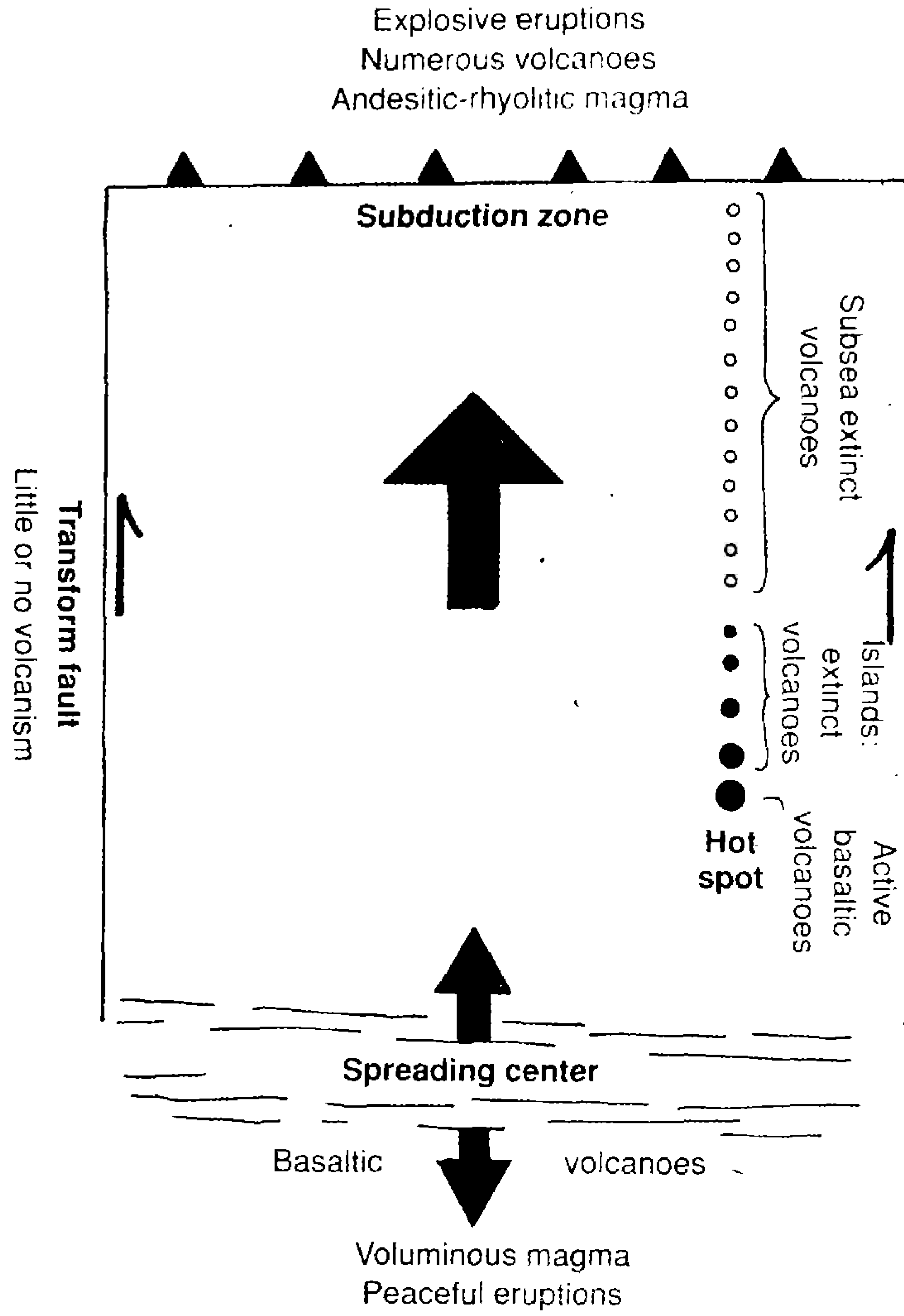
أسئلة للمراجعة

- ١ - ما هو عدد سنوات نشاط نطاق الانضواء؟ البركان؟ وكم عدد السنين التي تمر بين ثورات بركان نشيط؟
- ٢ - ارسم خريطة للوح تكتوني مثالي وقدر المخاطر البركانية التي تنشأ على طول كل نمط من حواف اللوح.
- ٣ - اشرح لماذا تكون أمانا نسبيا عندما تشاهد بركانا يثور فى هاواى بينما تتعرض للمخاطر عندما تشاهد بركانا يثور فى سلسلة جبال كاسكيد؟
- ٤ - ارسم خريطة للوح تكتوني و اشرح أصل براكين سلسلة جبال كاسكيد.
- ٥ - ارسم سلسلة من القطاعات المقطعية و اشرح تسلسل الأحداث فى ثورة بركان جبل سانت هيلانة فى عام ١٩٨٠.
- ٦ - ارسم قطاعا مقطوعيا و اشرح كيف تتكون الحمم الطينية (لاهار) وكيف تتحرك. وكيف تقتل البشر؟
- ٧ - لماذا تتحرك تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية بهذه السرعة؟ وكيف تقتل الناس؟
- ٨ - اشرح خاصية الثورة فى بركان تغذية البقع الحارة فى القارة.
- ٩ - ارسم قطاعا مقطوعيا و اشرح تسلسل الأحداث فى إحدى البحيرات الفتاكة فى أفريقيا مثل نيوس.
- ١٠ - ارسم قطاعا مقطوعيا و اشرح كيف يتكون الفيضان الجليدى؟

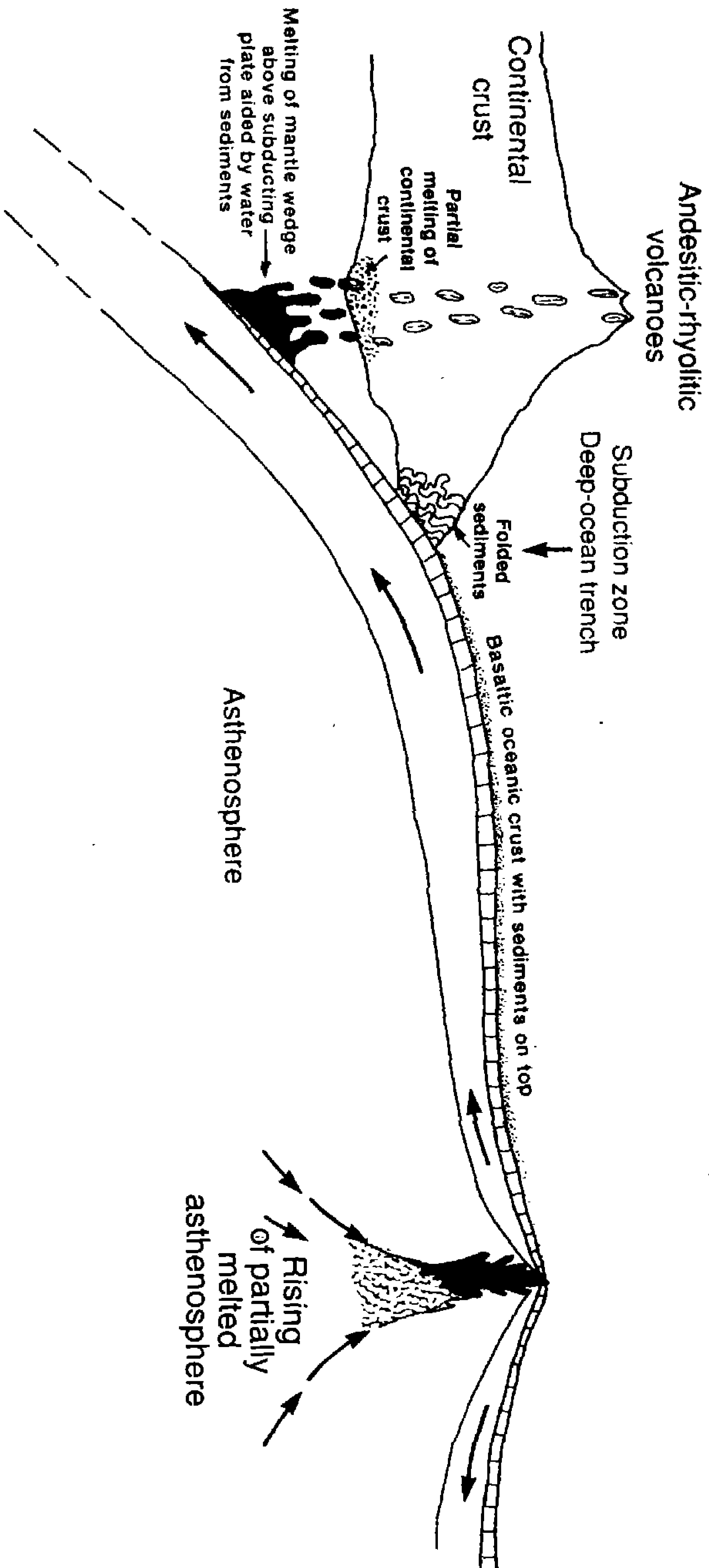
أسئلة لمزيد من التأمل

- ١ - هل يحتمل أن يثور بركان سلسلة جبال كاسكيد ثورة كبيرة في أثناء حياتك؟
- ٢ - هل من الحكمة أن يزداد نمو المدن بالقرب من جبل شاستا؟ وماذا يمكن عمله في هذا الموقف؟
- ٣ - هل من الحكمة البناء في أودية الأنهار تحت جبل رينيير، حتى على بعد عدة أميال؟

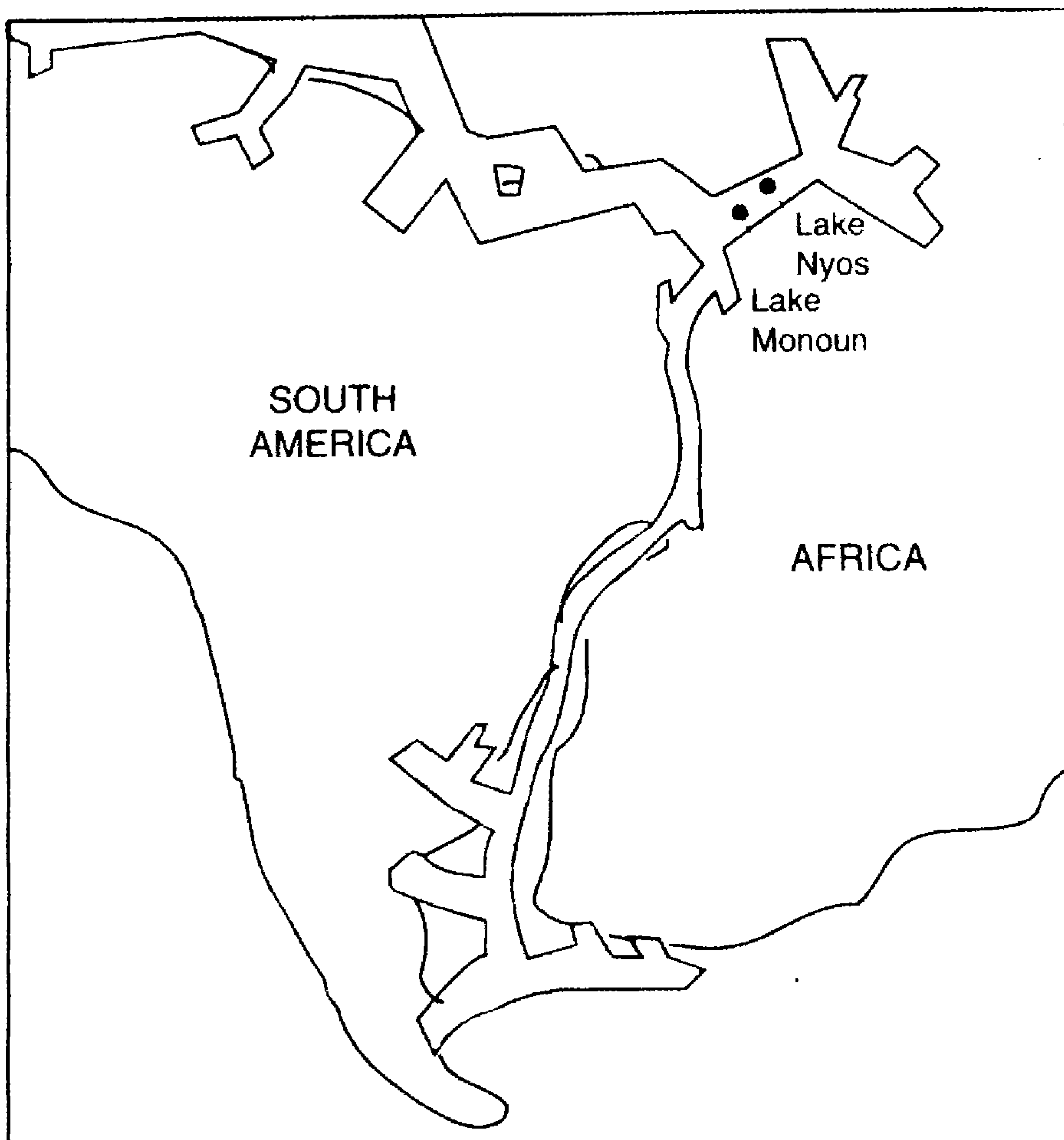
أشكال الفصل السابع



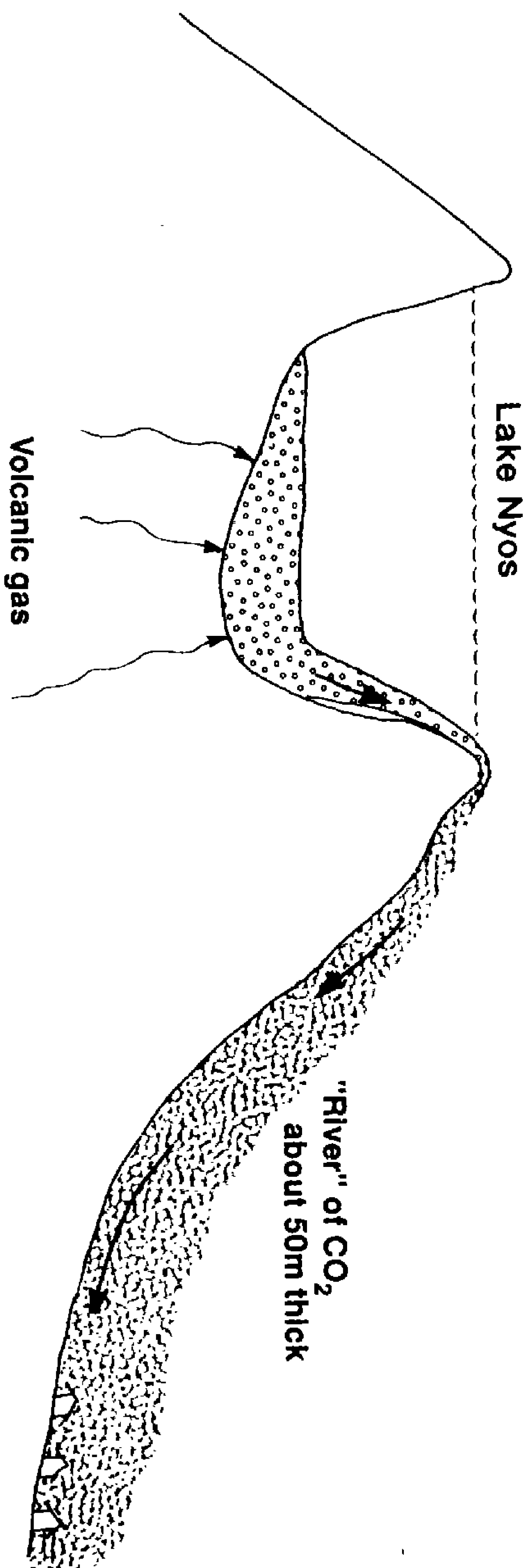
الشكل (١-٧) لوح محيطي مثالي يوضح أنماط البراكين.



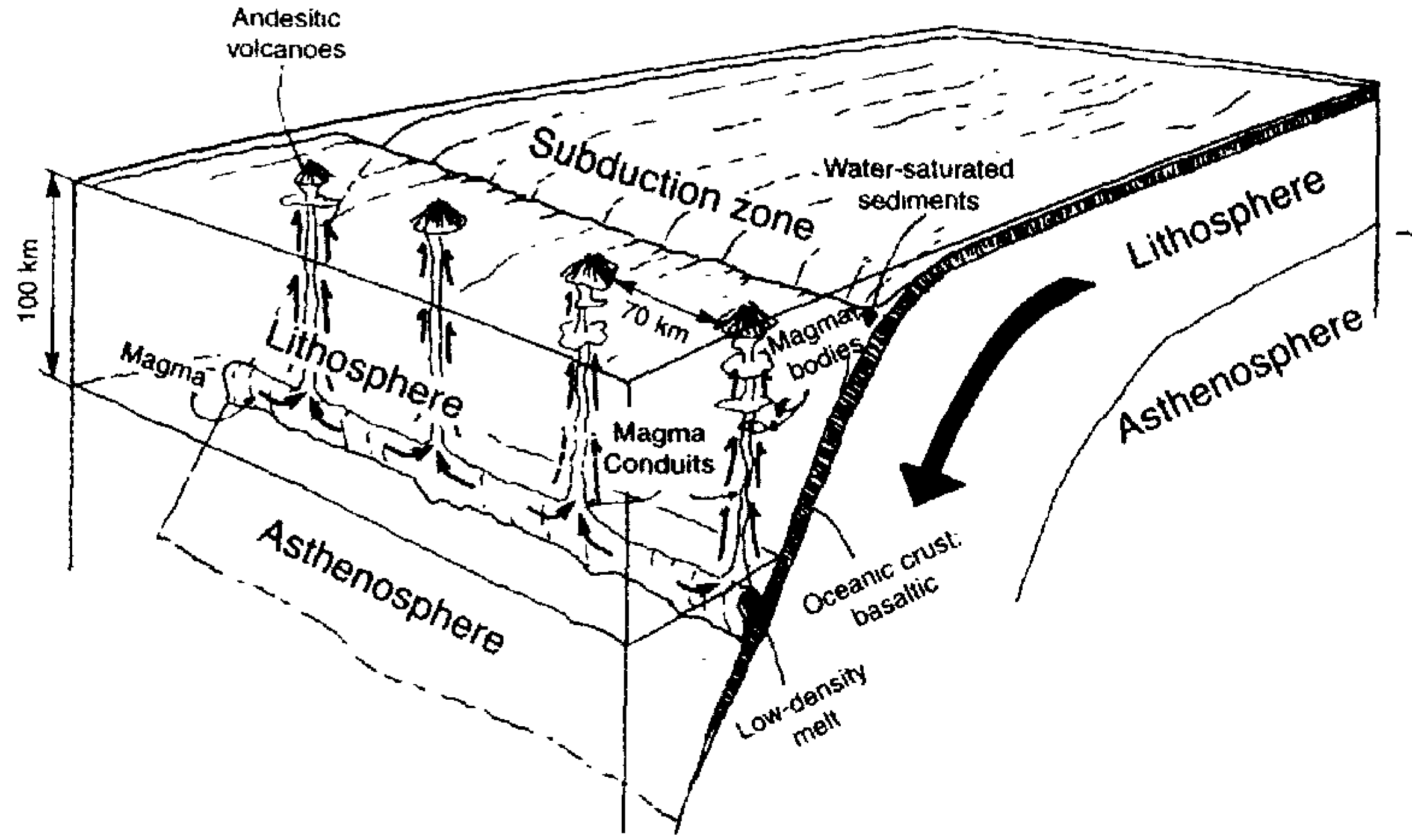
الشكل (٧-٢) قطاع مقطعي مثالي يوضح إنتاج الصهارة البازلتية في مراكز الانتشار. فالأمواج تتباعد وتتصهر بعض المواد في نطاق الانسياب (أستينوسفير) وترتفع حتى تملأ الثغرة. وتتكون صهارات الأنديسايت - والريولايت فوق نطاق الانسياب حيث تصهر الصهارة المرتفعة جزئياً القشرة القارية وهي في طريقها إلى أعلى؛ وبهذا تغير المواد المنصهرة بزيادة محتواها من ثاني أكسيد السيليكون والزوجة.



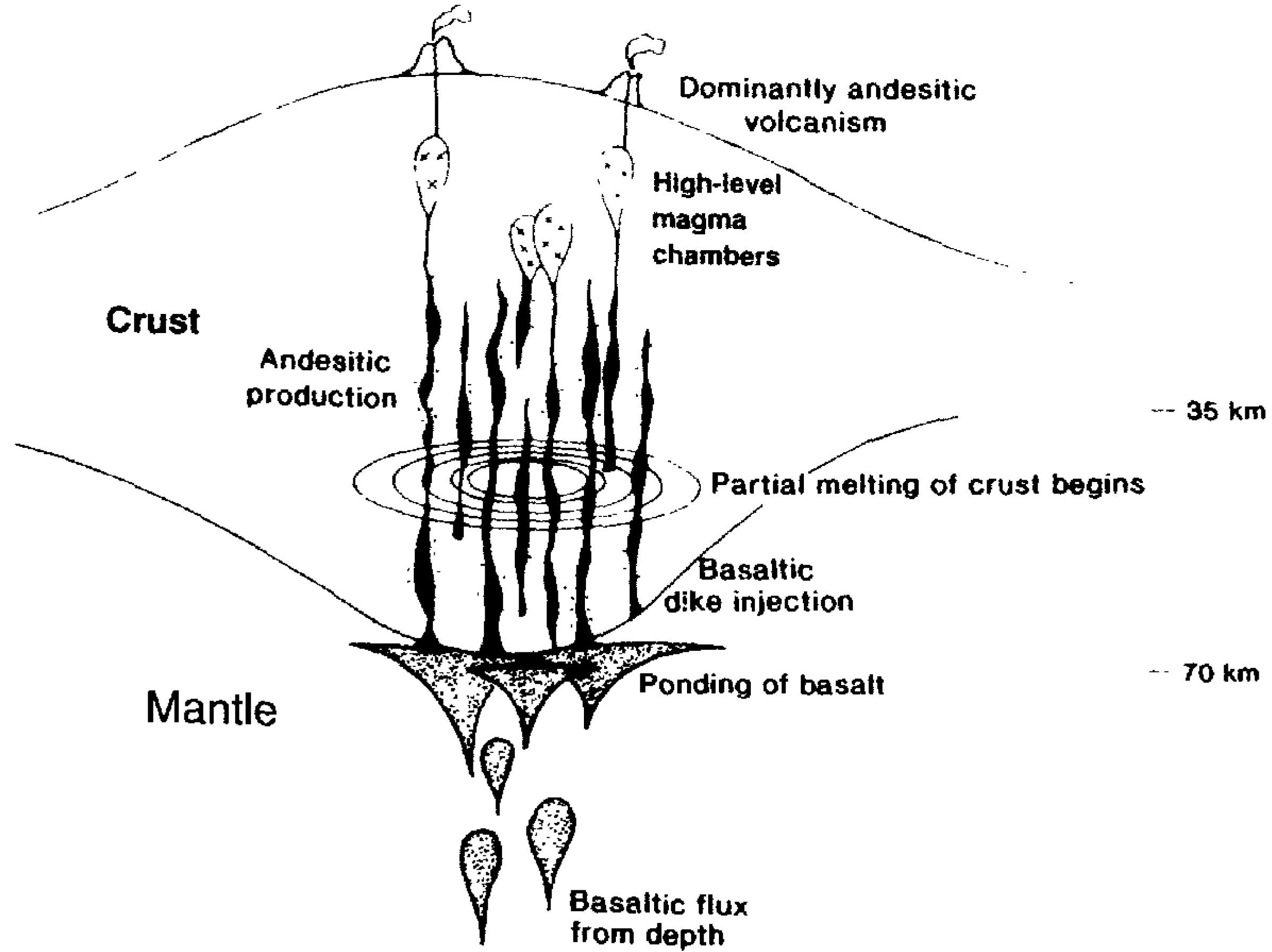
الشكل (٧-٣) خريطة تخطيطية لأفريقيا وأمريكا الجنوبية وهما تتباعدان منذ ١٣٥ مليون سنة. لاحظ الأخدود الثالث الذي يمتد في أفريقيا.



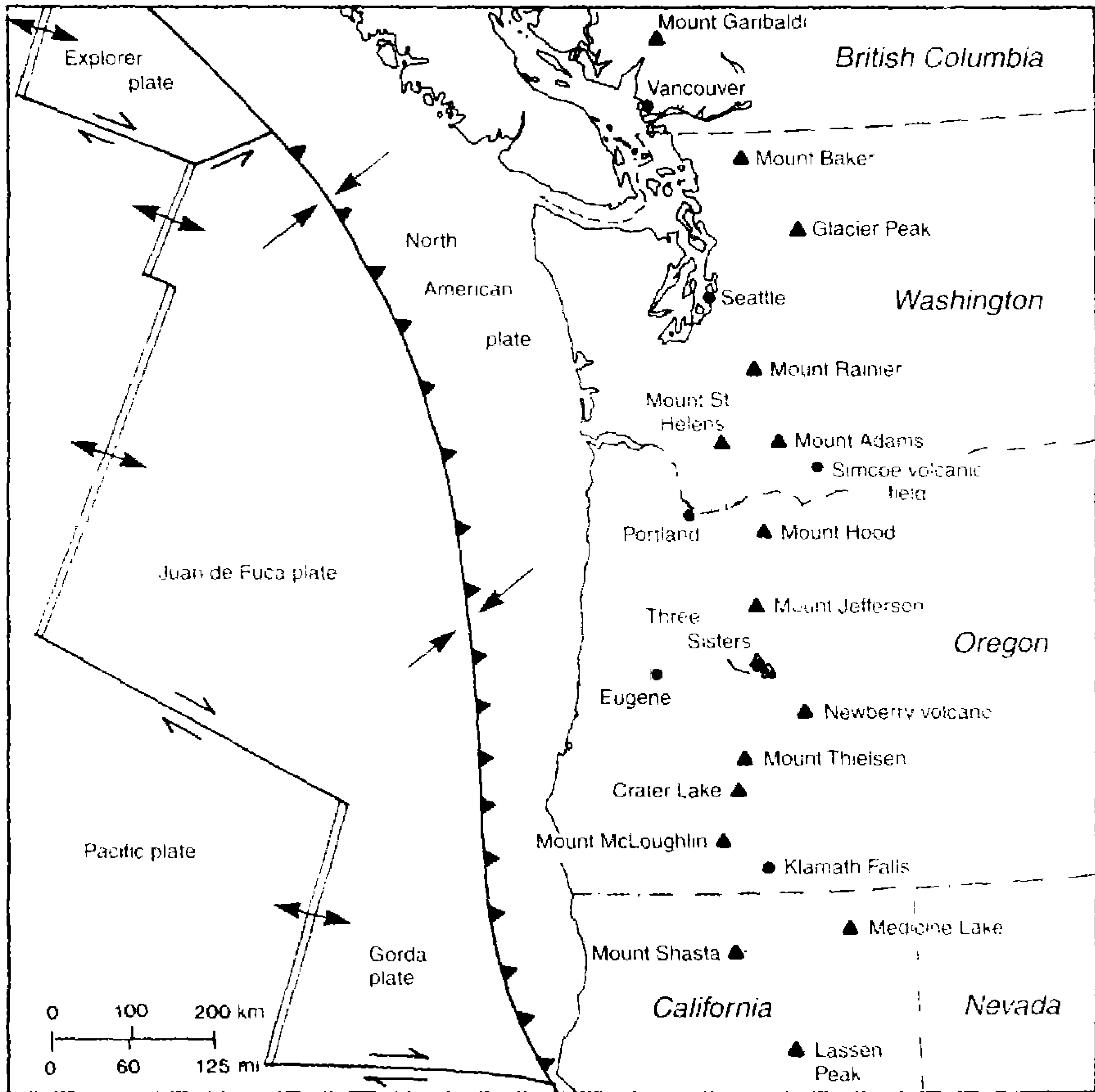
الشكل (٧-٤) رسم قطاع مقطعي تخليطي لبحيرة نيوس. امتصت طبقة الماء العميقة الغازات البركانية. وفي عام ١٩٨٦ عندما اضطرب ماء القاع تدفق ١.٢ كم^٣ من غاز ثاني أكسيد الكربون في أودية النهر لمدة ساعة في سحابة سمكها ٥٠ مترا. وقتلت جميع الكائنات الحية تقريبا ولكن النباتات لم تتأثر.



الشكل (٧-٥) رسم تكعيبي للوح محيطي منضوى يحمل رواسب مشبعة بالماء. ويحدث الانصهار على عمق حوالي ١٠٠ كم (٦٠ ميلاً) تحت السطح. وترتفع الصهارة ببطء؛ ويتجمع بعضها في خزانات تحت السطح، بينما يثور البعض الآخر فوق السطح.

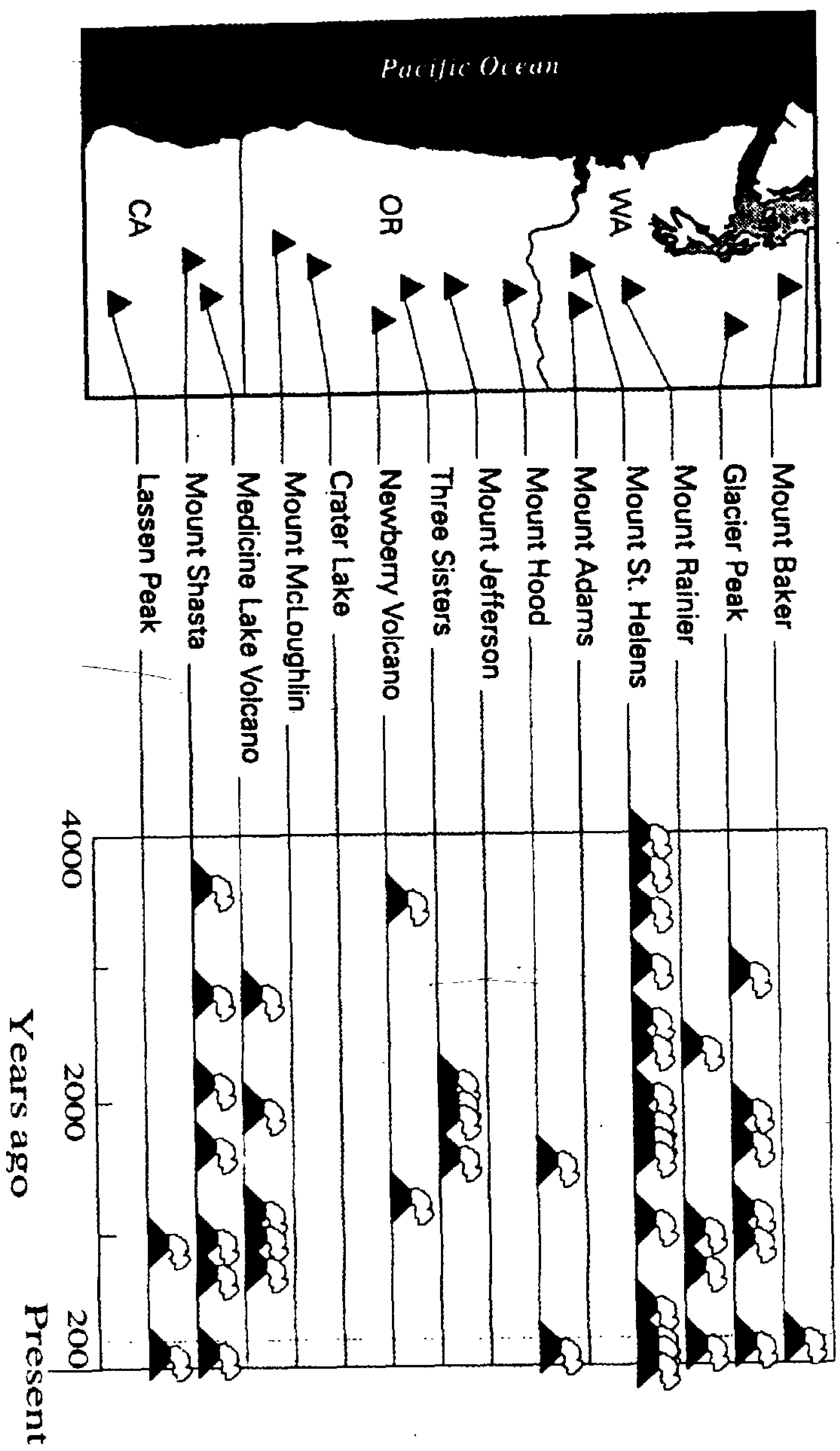


الشكل (٧-٦) قطاع مقطعي تخطيطي للصهارة وهي ترتفع من نطاق الانضواء وقد تلوثت وهي في طريقها إلى أعلى.



الشكل (٧-٧) خريطة الألواح التكتونية لبراكين سلسلة جبال كاسكيد. وتتوازي البراكين تقريبا مع نطاق الانضواء كما تتساوى مسافات البنية تقريبا.

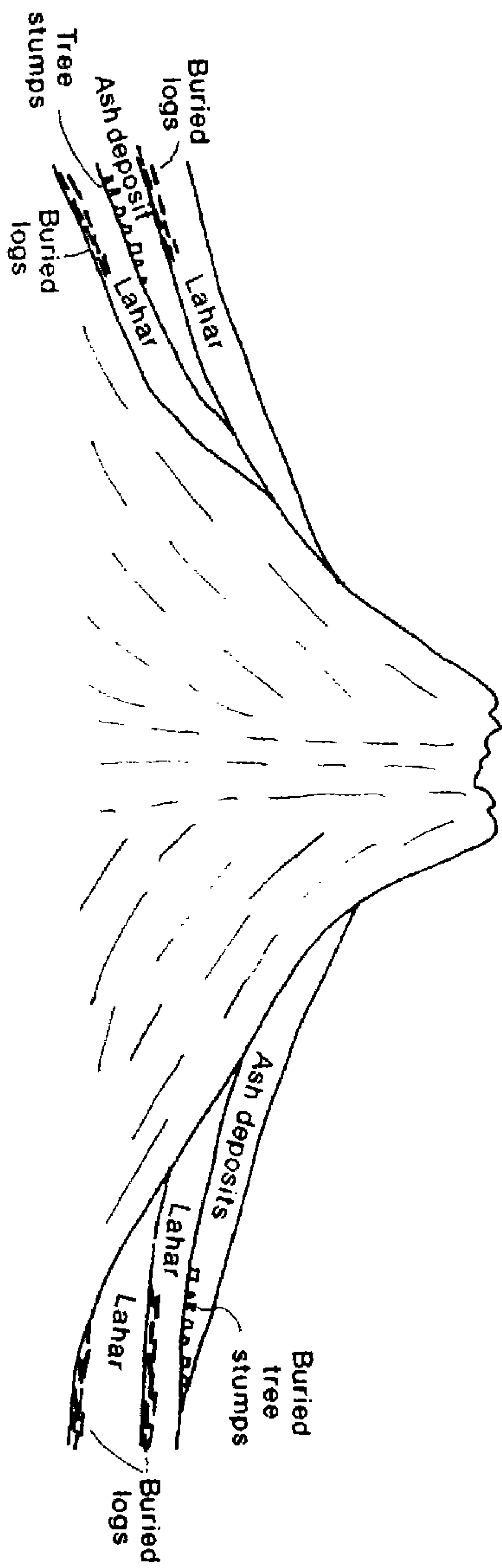
Recent Cascade Range Eruptions



الشكل (٧-٨) تواريخ ثورات براكين سلسلة جبال كاسكيد.



الشكل (٧-٩) تشير الأشجار الساقطة إلى اتجاه سير الانفجار البركاني في جبل سانت هيلانة في ١٨ مايو ١٩٨٠.



الشكل (٧-١٠) قطاع مقطعي تخطيطي لأحد البراكين وبعض رواسبه. وتدل تواريخ الكربون المشع في الأخشاب المدفونة على تواريخ موت هذه الأشجار، أي وقت حدوث البركان.

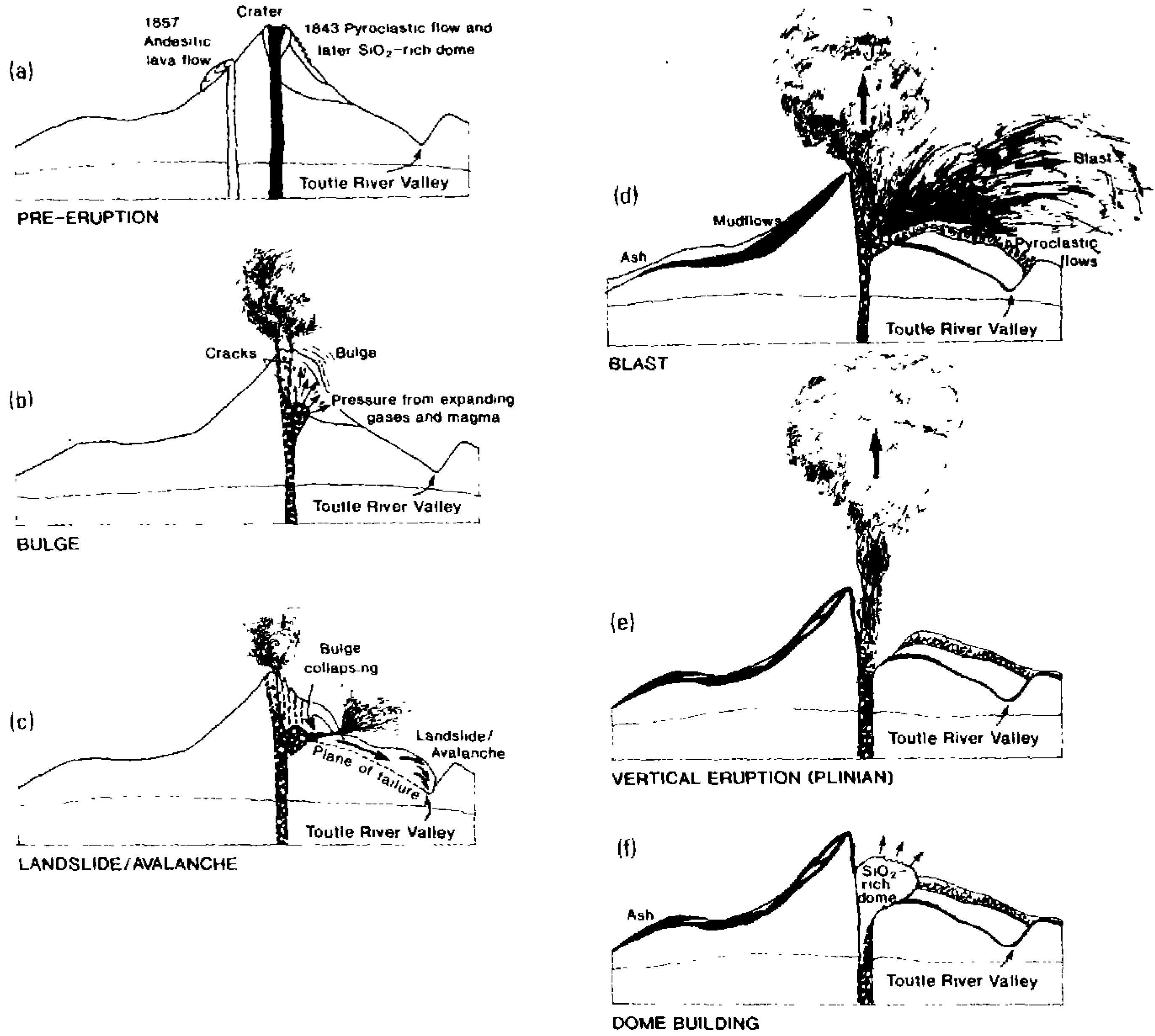


(أ)

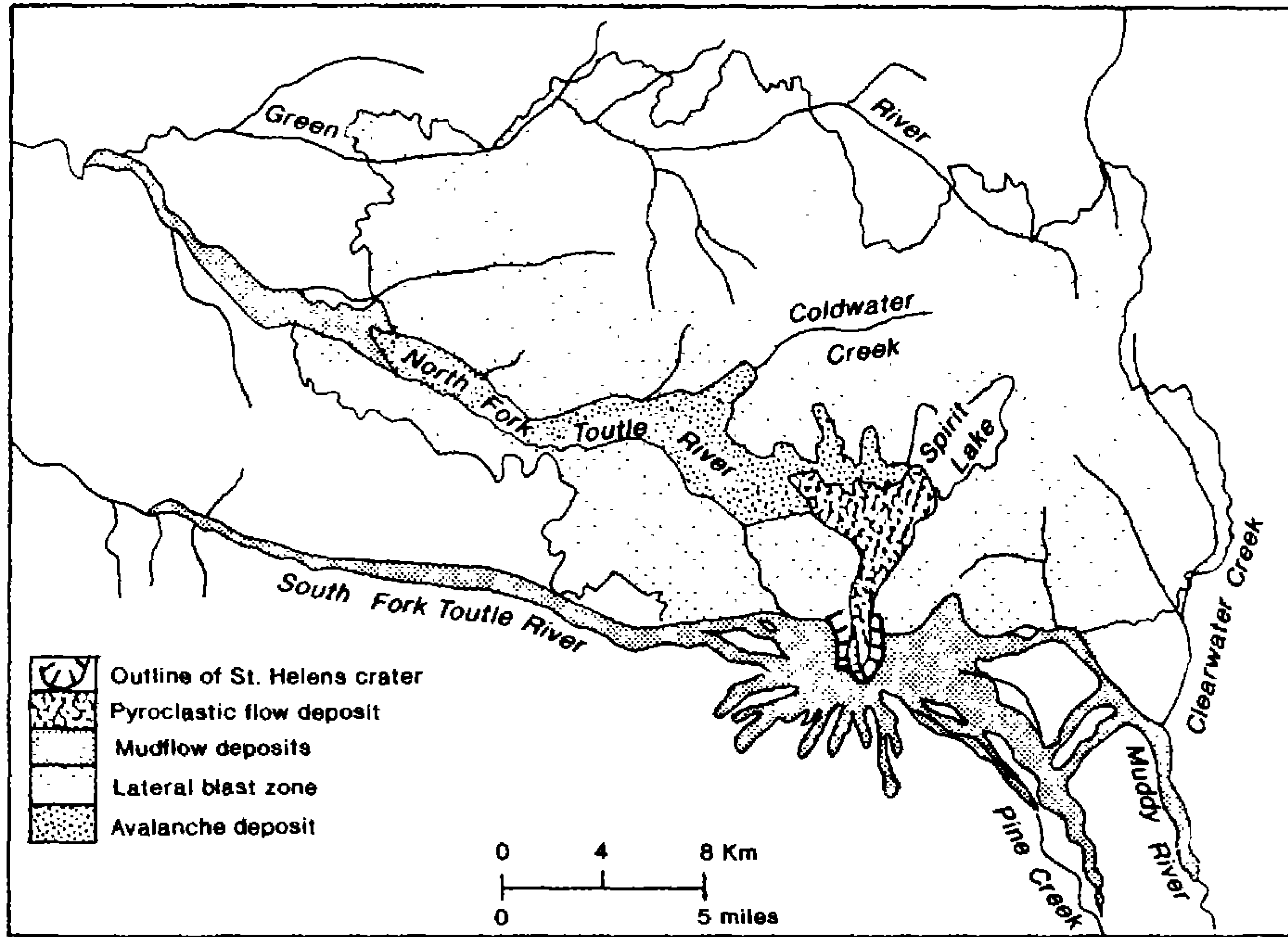


(ب)

الشكل (٧-١١) بركان جبل سانت هيلانة. (أ) قبل: منظر في الشمال الشرقي للمخروط الجميل لجبل سانت هيلانة في يوم ٢٥ أغسطس ١٩٧٤. ويقع جبل رينير في أعلى يسار الصورة. (ب) بعد: المنظر نفسه في يوم ٢٤ أغسطس ١٩٨٠ بعد أن أطاح البركان بقمة الجبل (١.٣١٢ قدما).



الشكل (٧-١٢) سلسلة ثورات بركان جبل سانت هيلانة في ١٩٨٠. (أ) تكوّن المخروط البركاني المتناسق في عامي ١٨٤٣ و ١٨٥٧. (ب) في أواخر مارس أحدثت الصهارة المرتفعة والغازات المتضخمة انبعاجا يتزايد في الجانب الشمالي. (ج) وفي الساعة ٨,٣٢ من صباح يوم ١٨ مايو ١٩٨٠ حدث زلزال قوته ٥,١ فتسبب في سقوط الانبعاج في انزلاق أرضي/ جلمود كبير. (د) خفف الانزلاق الأرضي من الضغط من فوق كتلة الصهارة القريبة من السطح فحدث انفجار فوري للصخور المتفتتة والصهارة. (هـ) خلا الطريق الآن في حلق البركان فانطلقت ثورة عمودية من الغازات وقطع الصهارة إلى ارتفاعات تزيد عن ٢٠ كم (١٢ ميلا) لمدة ٨ ساعات. (و) واليوم يعيد الجبل ببطء بناء قبته البركانية بالصهارة الغنية بثاني أكسيد السيليكون SiO_2 .



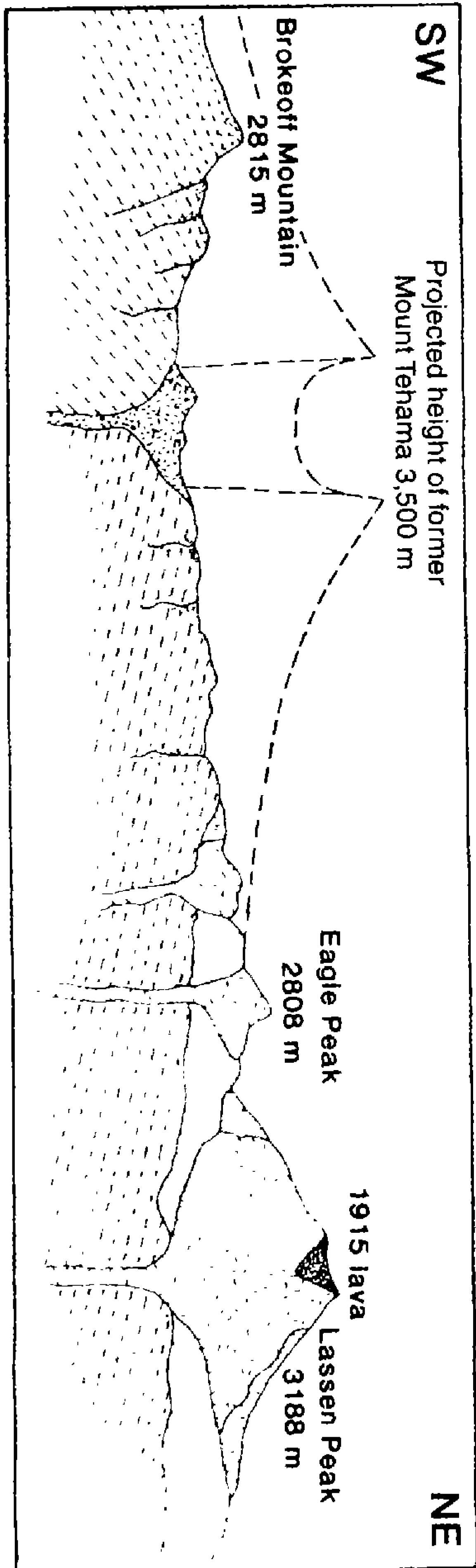
الشكل (٧-١٣) خريطة بالمواد التي تكسدت في ثورة بركان جبل سانت هيلانة في يوم ١٨ مايو ١٩٨٠. حدثت الرواسب من الجلاميد في الانزلاق الأرضي المبدئي. ثم أعقبه على الفور انفجار جانبي. ثم تدفقت صخور فتاتية حرارية من كتلة الصهارة المكشوفة. وفي هذه الأثناء انبجست المياه الجوفية الفائقة السخونة والجليد والثلوج التي ذابت فسيّلت الرواسب وفاضت على المنحدرات على شكل حمم طينية تدفقت في الوديان.



الشكل (١٤-٧) منظر للجانب الشمالي الشرقي المدمر لجبل سانت هيلانة في يوم ٢٠ أغسطس ١٩٨٠. ويشاهد في خلفية الصورة جبل أدامز.



الشكل (٧ - ١٥) نهر توتيل مختلق بحطام الثورة .



الشكل (٧-١٦) قطاع مقطعي في قمة لاسين - إقليم جبل تهامة في كاليفورنيا.



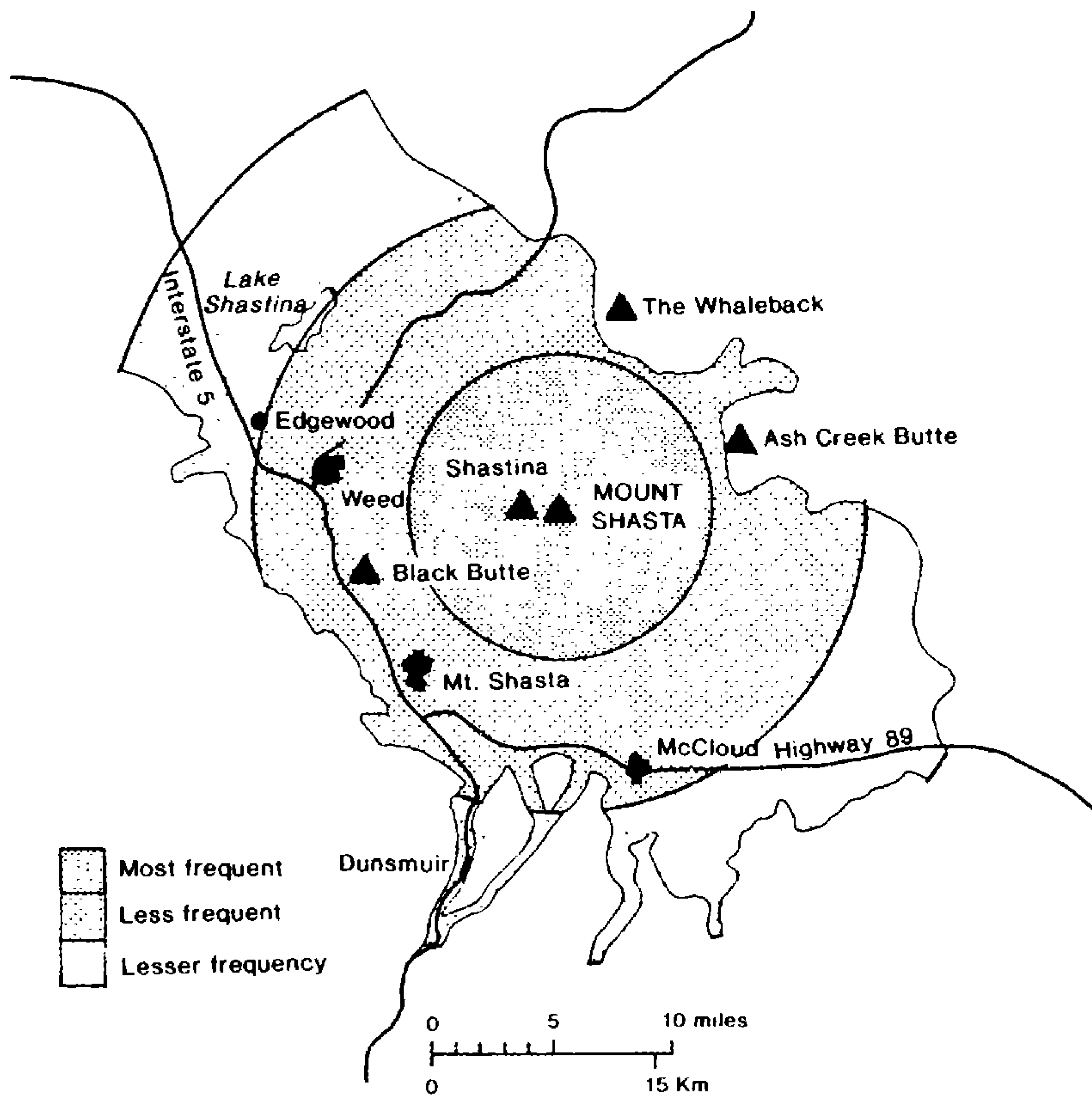
الشكل (١٧-٧) قبة حمم نوفارابتا تكوَّنت عندما سدت الصهارة المتجمدة قناة الصهارة المركزية في ثورة ١٩١٢ في بركان كاتماي في ألاسكا. والقبة قطرها ٨٠٠ قدم وارتفاعها ٢٠٠ قدم.



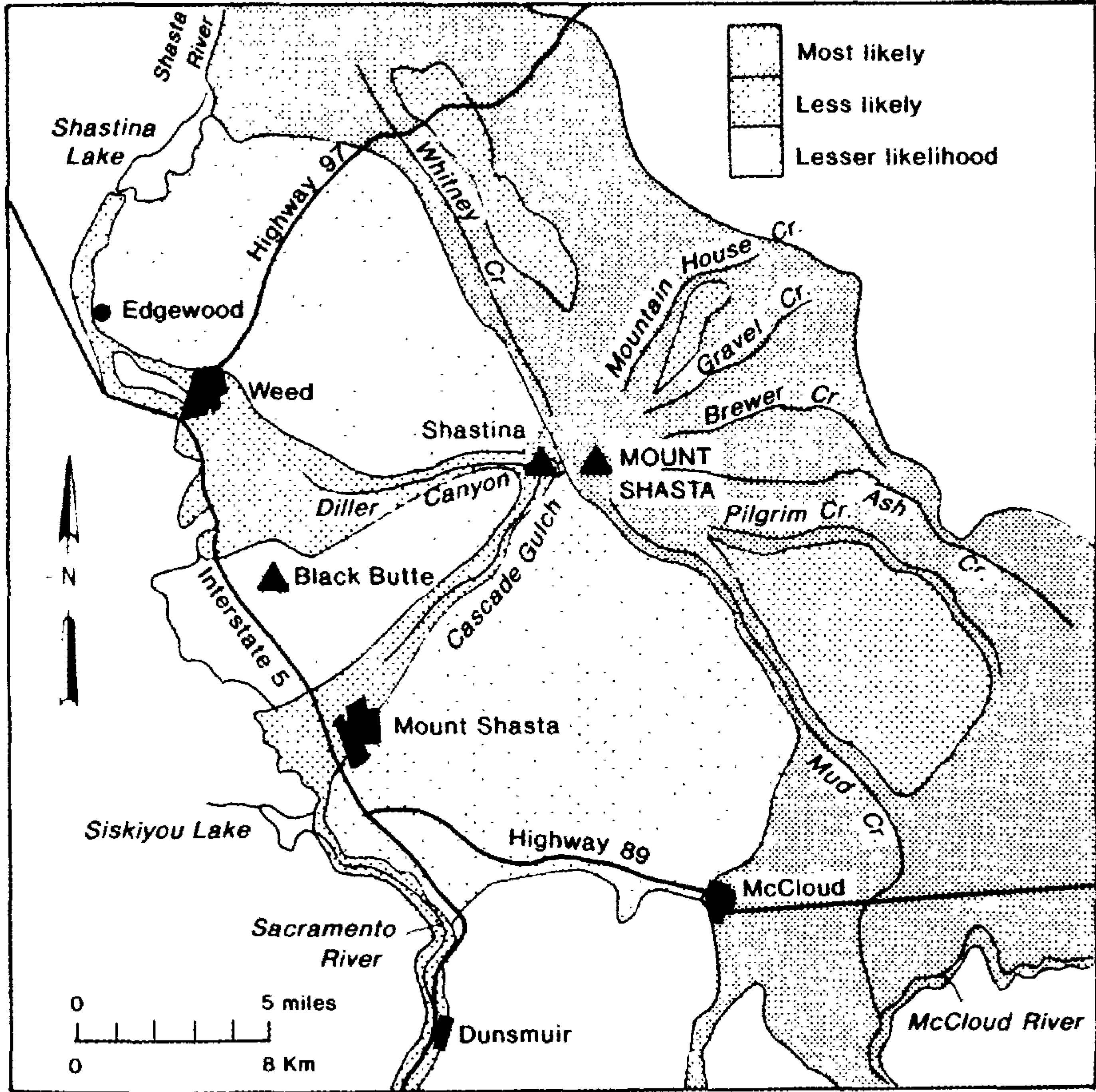
الشكل (٧-١٨) مشهد للجانب الشمالي لقمة لاسين، التي دمرتها ثورة بركان ١٩ مايو ١٩١٥.



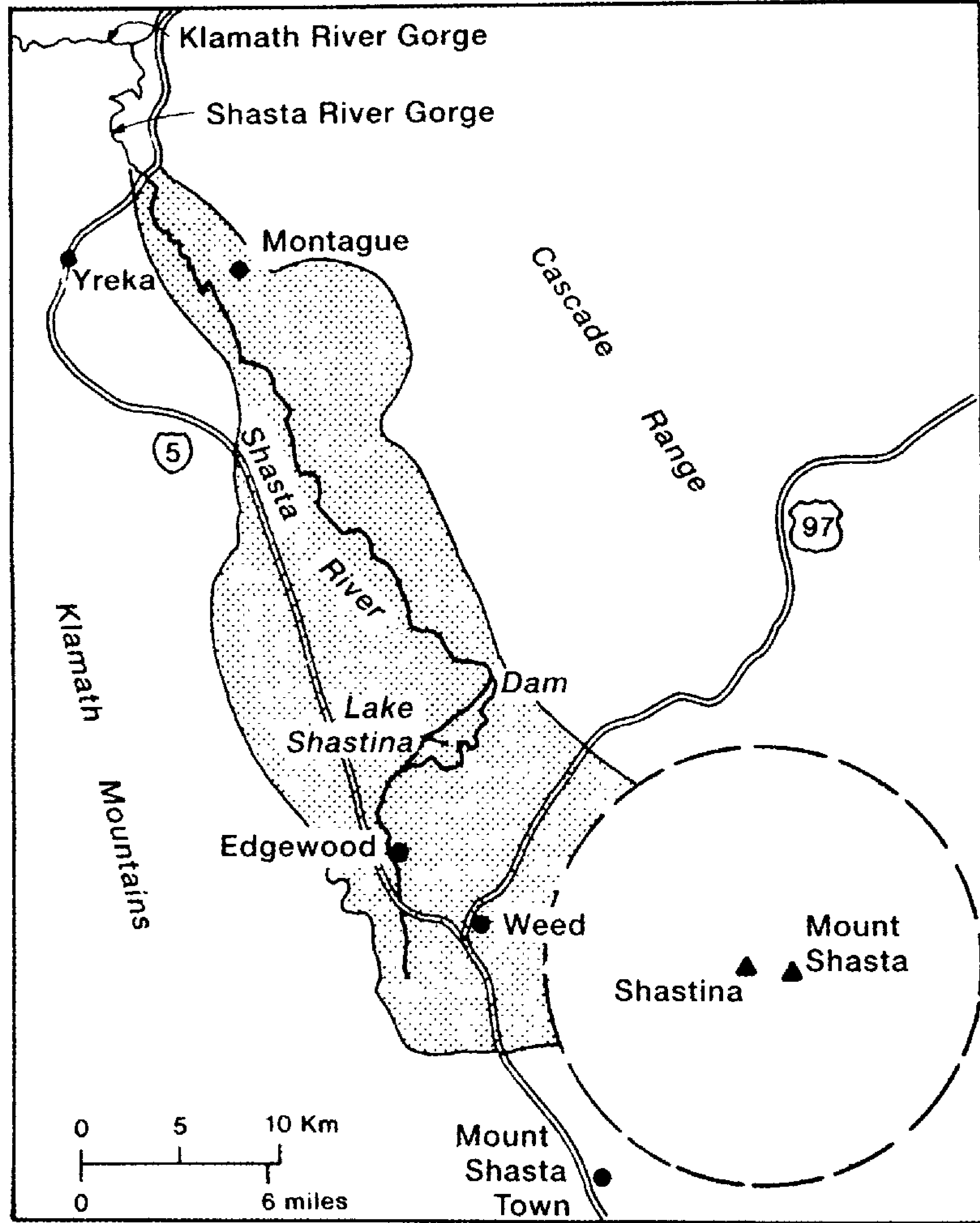
الشكل (١٩-٧) مشهد من شمال جبال شاستا وشاستينا. لاحظ شبكة الطرق المستخدمة في تنمية المدن والمنشأة فوق الحمم والتفقات والحمم الطينية ورواسب الجلاميد.



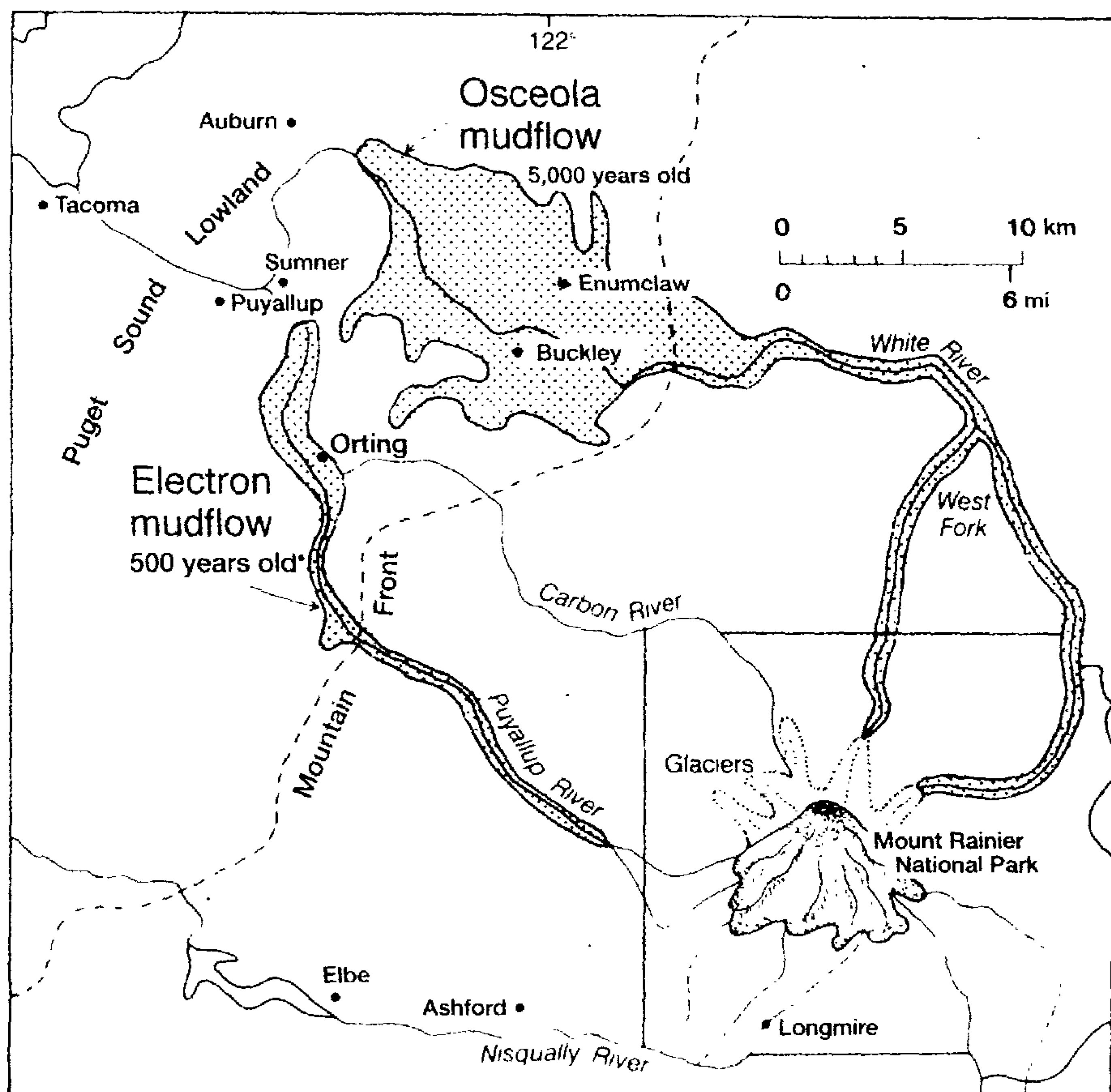
الشكل (٧-٢٠) خريطة لإقليم جبل شاستا- شاستينا. توضح المناطق الأكثر تعرضاً للانفجارات الجانبية وتدفقات الصخور الفتاتية الحرارية. لاحظ المدن المتنامية داخل نطاقات الخطر.



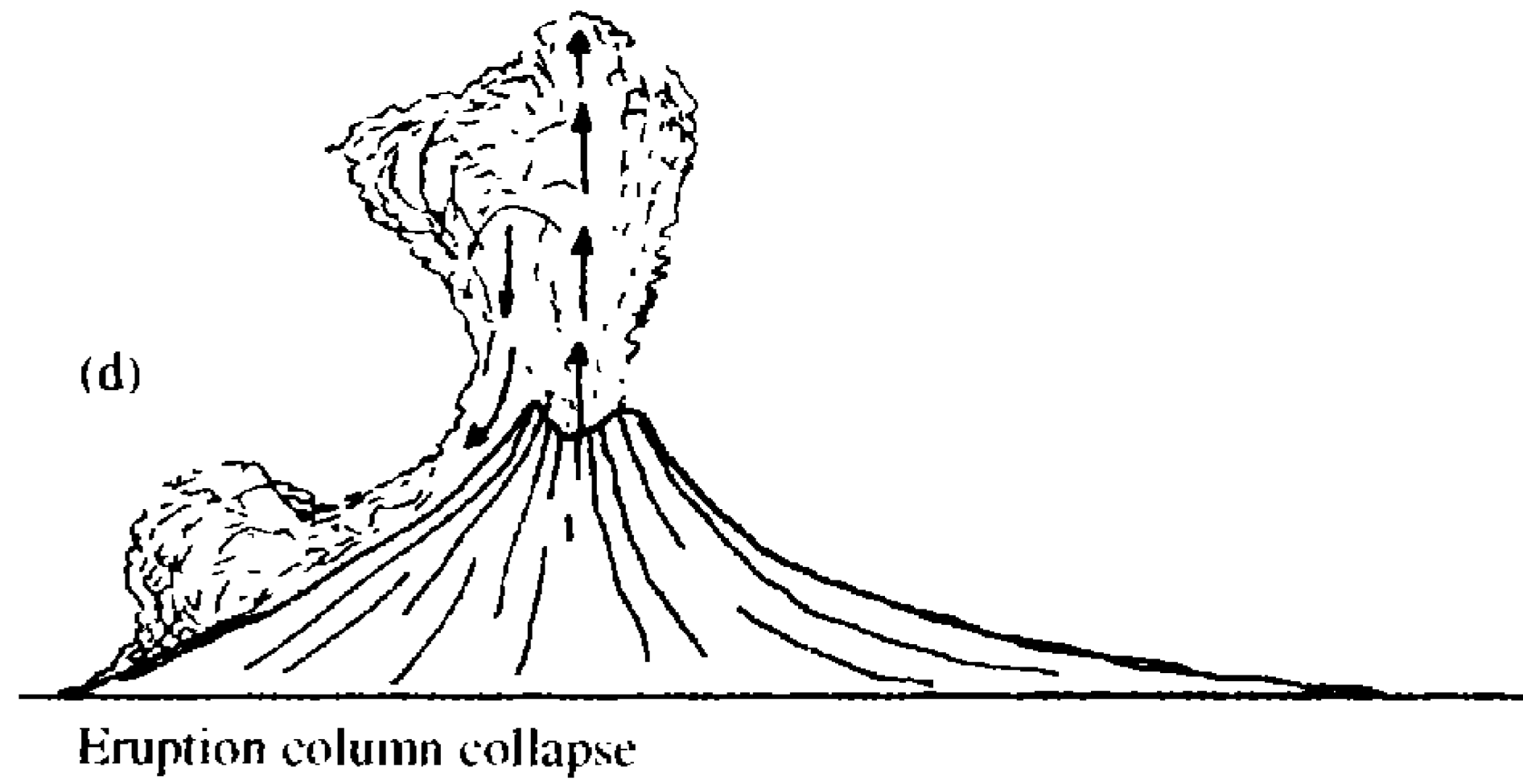
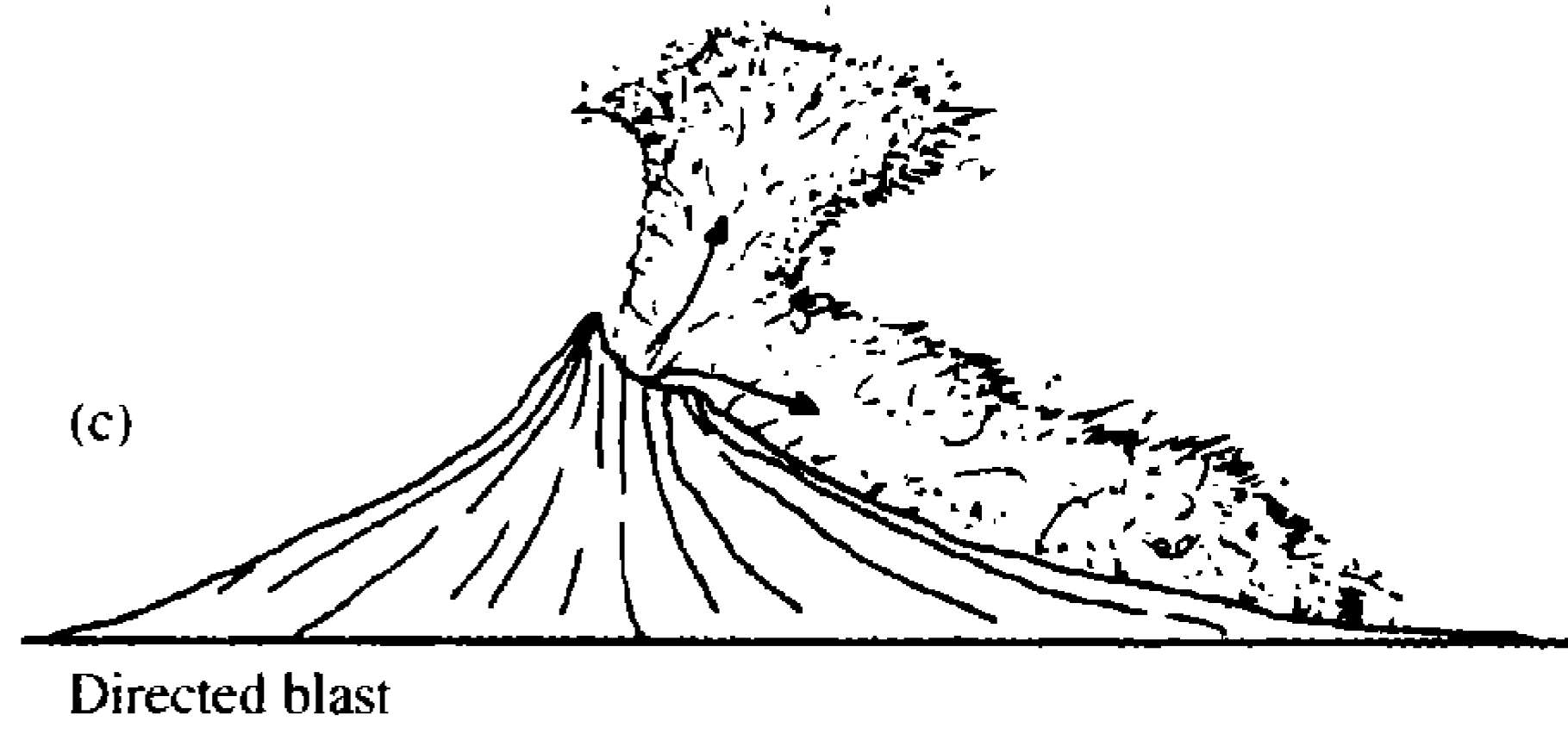
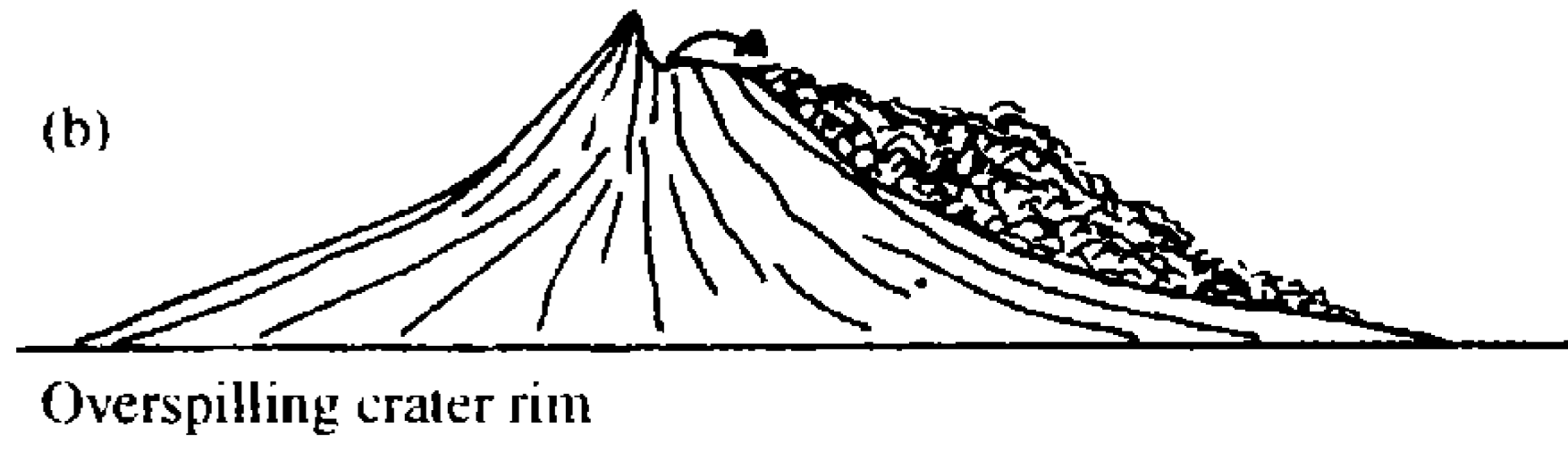
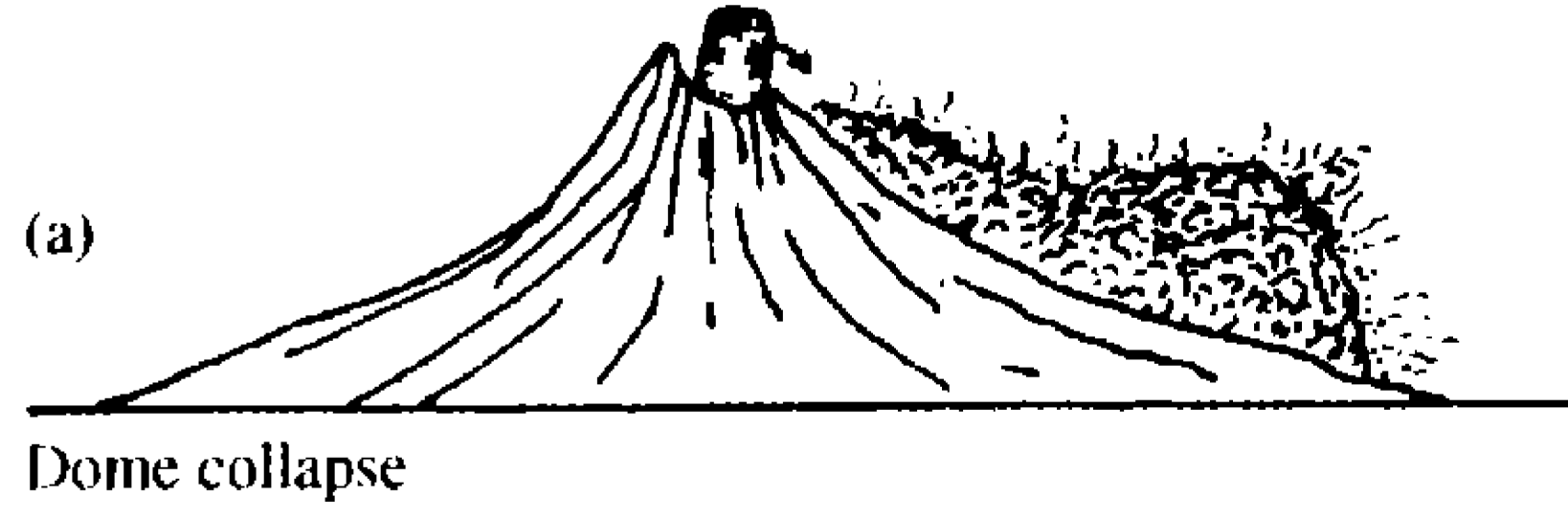
الشكل (٢١-٧) خريطة لإقليم جبل شاستا- شاستينا توضح أكثر الممرات احتمالا لتدفقات الحمم الطينية. وتميل هذه التدفقات الطينية البركانية إلى الأراضي المنبسطة في قاع النهر حيث بنيت المدن.



الشكل (٢٢-٧) خريطة لترسب جلمود منذ ٢٠٠,٠٠٠ سنة عند قاعدة جبل شاستا. وتبادل كمية المواد ثمانية أضعاف مثيلاتها المتدفقة من ثورة بركان جبل سانت هيلانه في عام ١٩٨٠. وتشكل قاعدة الأساسات لثلاث مدن وخزان ماء.



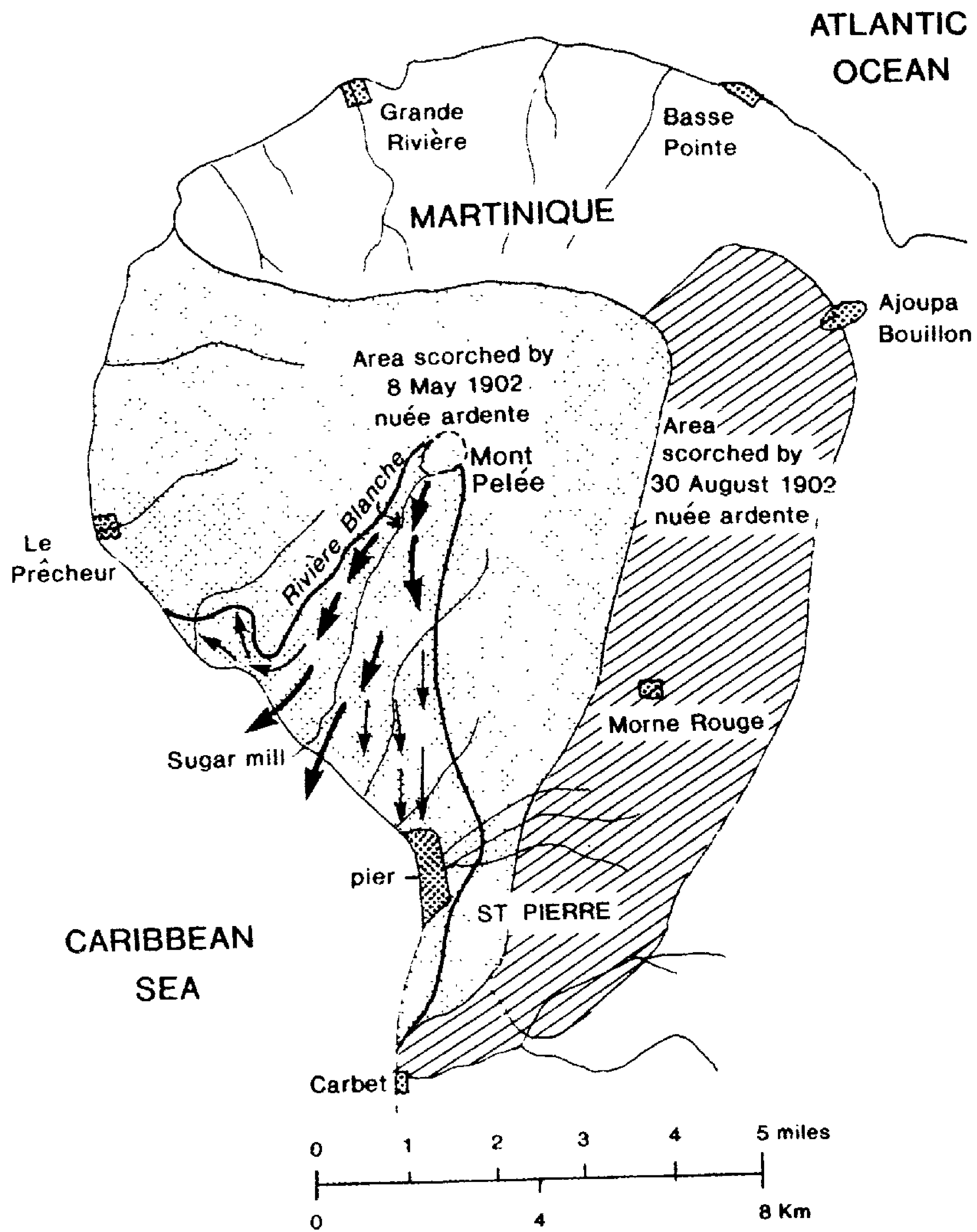
الشكل (٧-٢٢) خريطة توضح منطقة تغطيها طبقتان من تدفقات الحمم الطينية التي تدفقت من جبل رينير.



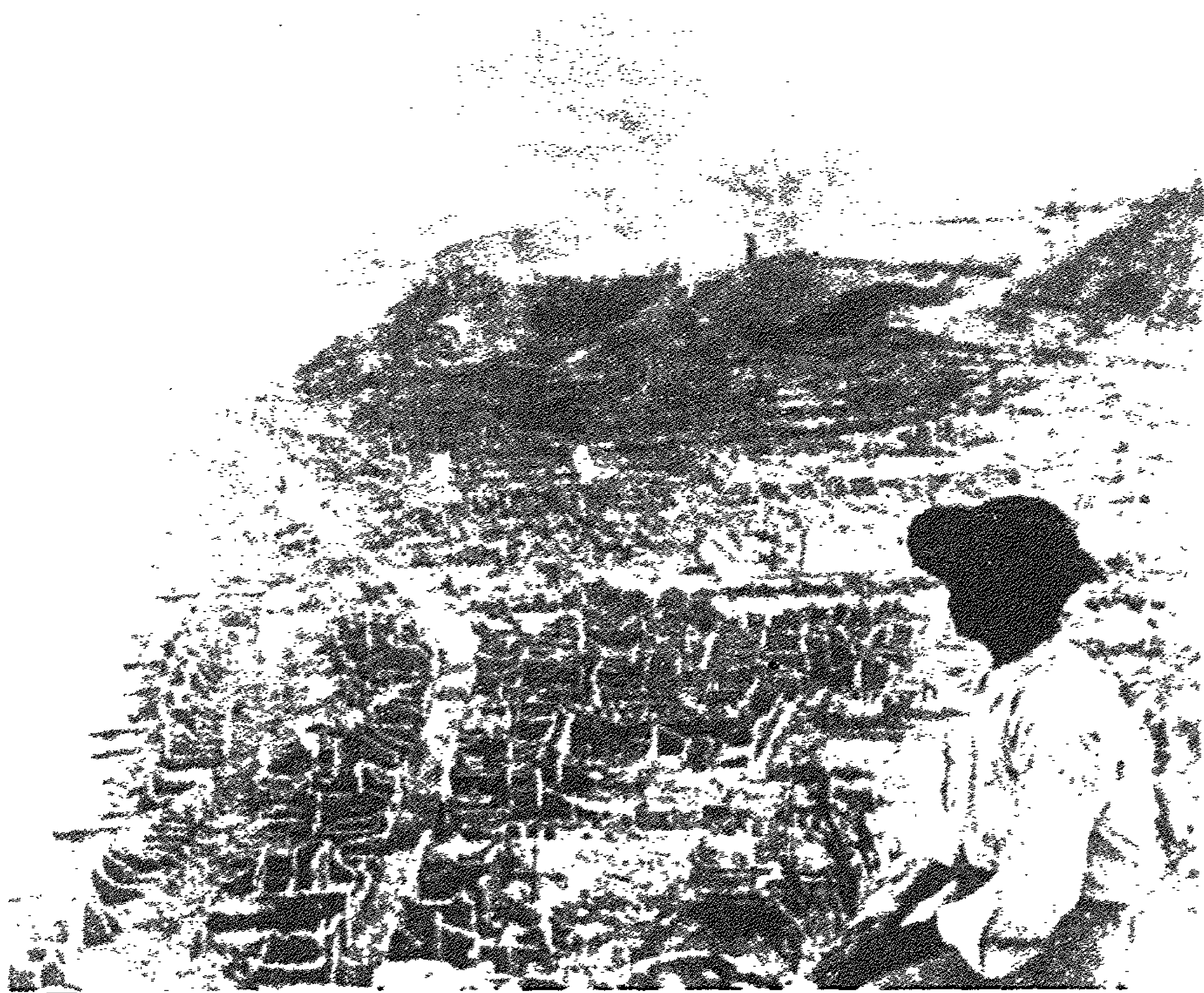
الشكل (٧-٢٤) طرق تكوين تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية. (أ) انهيار القبة كما حدث في جبل أنزين في ١٩٩١؛ (ب) فيض يسيل من حافة الفوهة كما حدث في جبل بيليه في ١٩٠٢-١٩٠٣؛ (ج) انفجار موجة كما حدث في جبل سانت هيلانة في ١٩٨٠ وفي جبل بياتيويو في ١٩٩١؛ (د) انهيار عامود الثورة كما حدث في جبل مايون في ١٩٦٨.



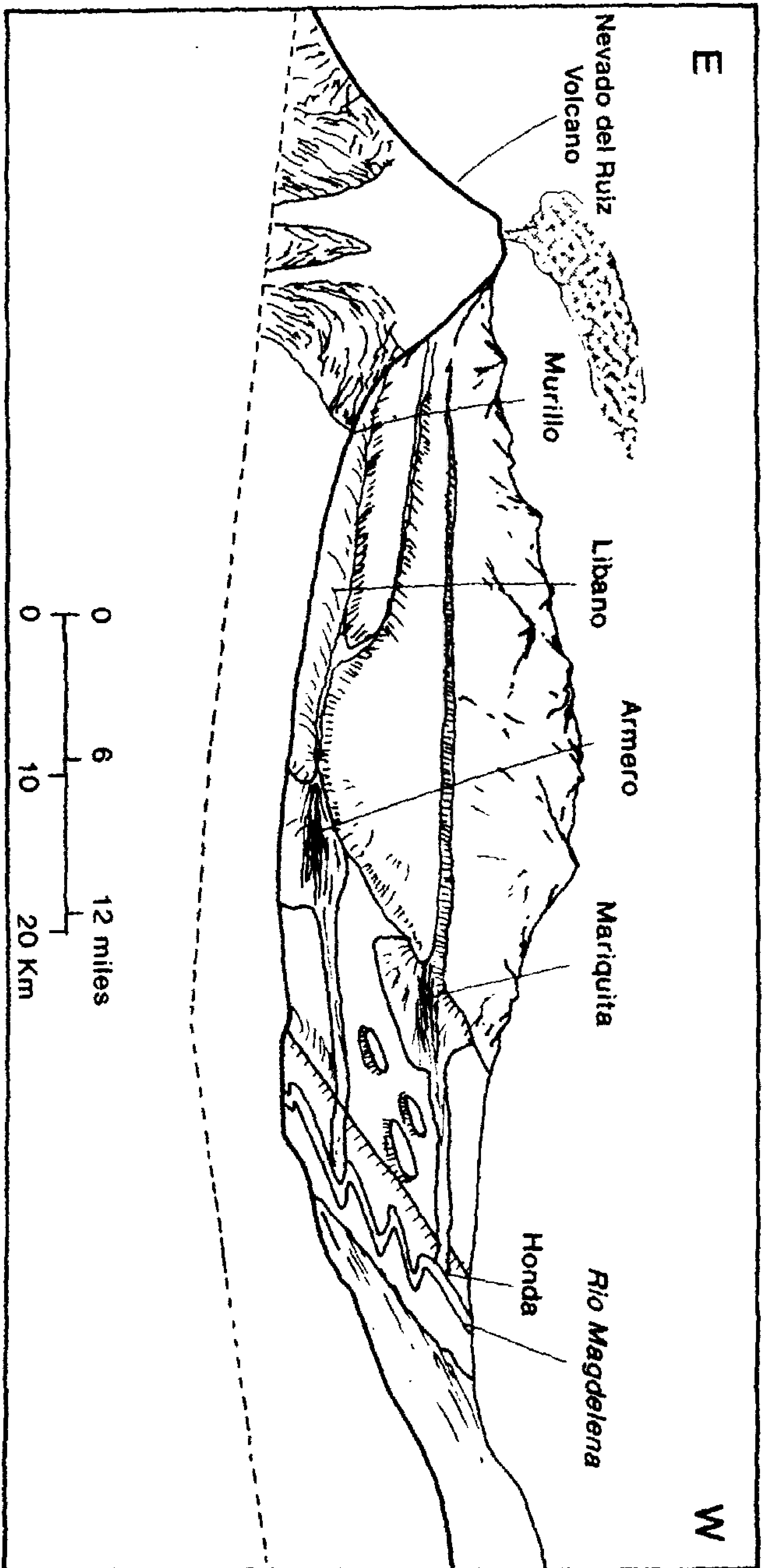
الشكل (٧-٢٥) تكون تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية على شكل انهيارات لعامود الثورة العمودية
ثم تدفقها أسفل التل، في بركان مايون في الفلبين في ١٩٦٨.



الشكل (٧-٢٦) خريطة لجبل بيليه توضح منطقة احترق سطحها بأكبر السحب المتوهجة في عام ١٩٠٢.



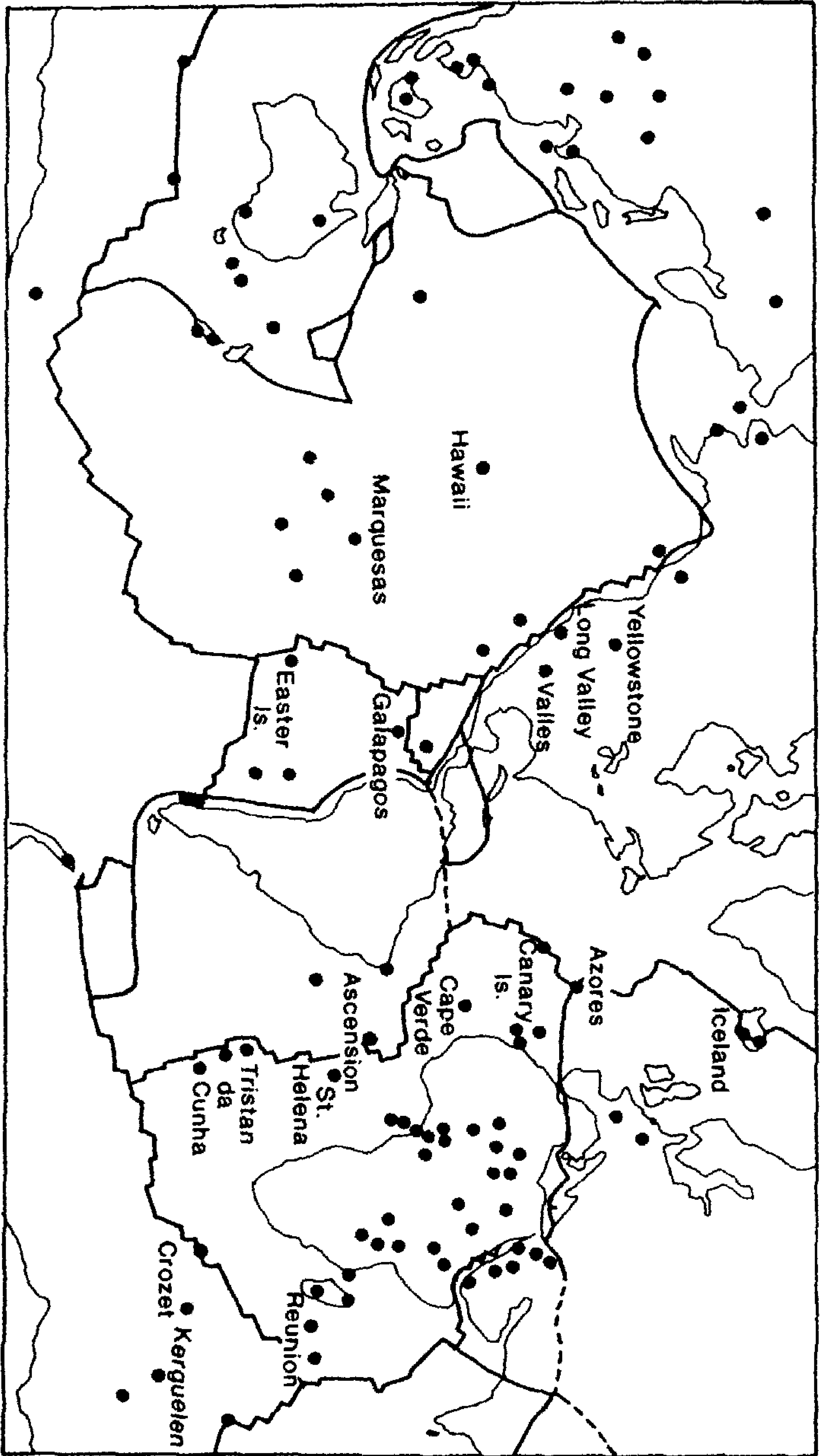
الشكل (٢٧-٧) أطلال سانت بيير بعد السحابة المتوهجة في مايو ١٩٠٢. ويوجد جبل بيليه في خلفية الصورة.



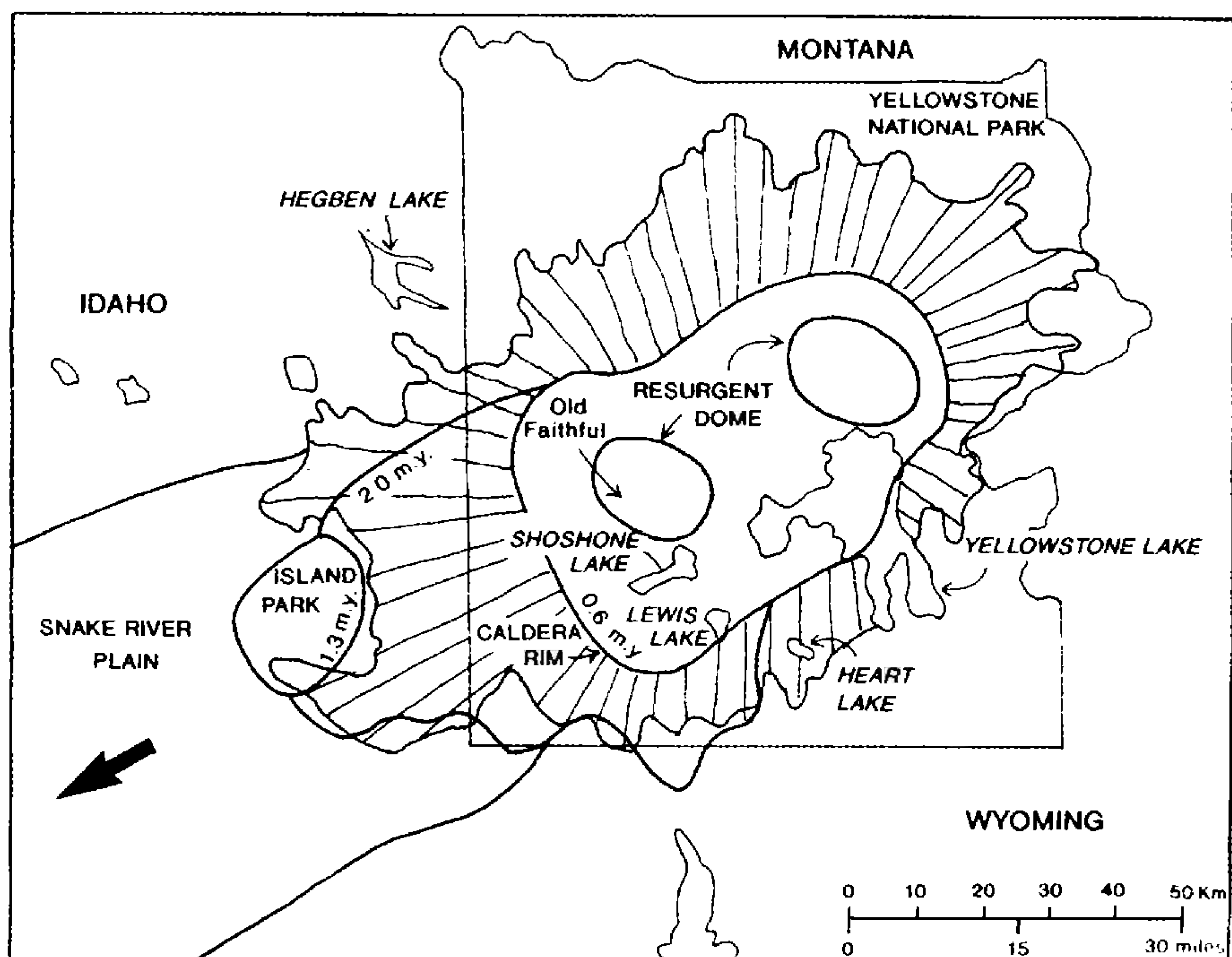
الشكل (٧-٢٨) ثفرة بركان نيفادا ديل رويز في ١٩٨٥ أسقطت حطاما للصخور الفتاتية الحرارية فوق الجبال فتكونت على إثرها الحمم الطينية.



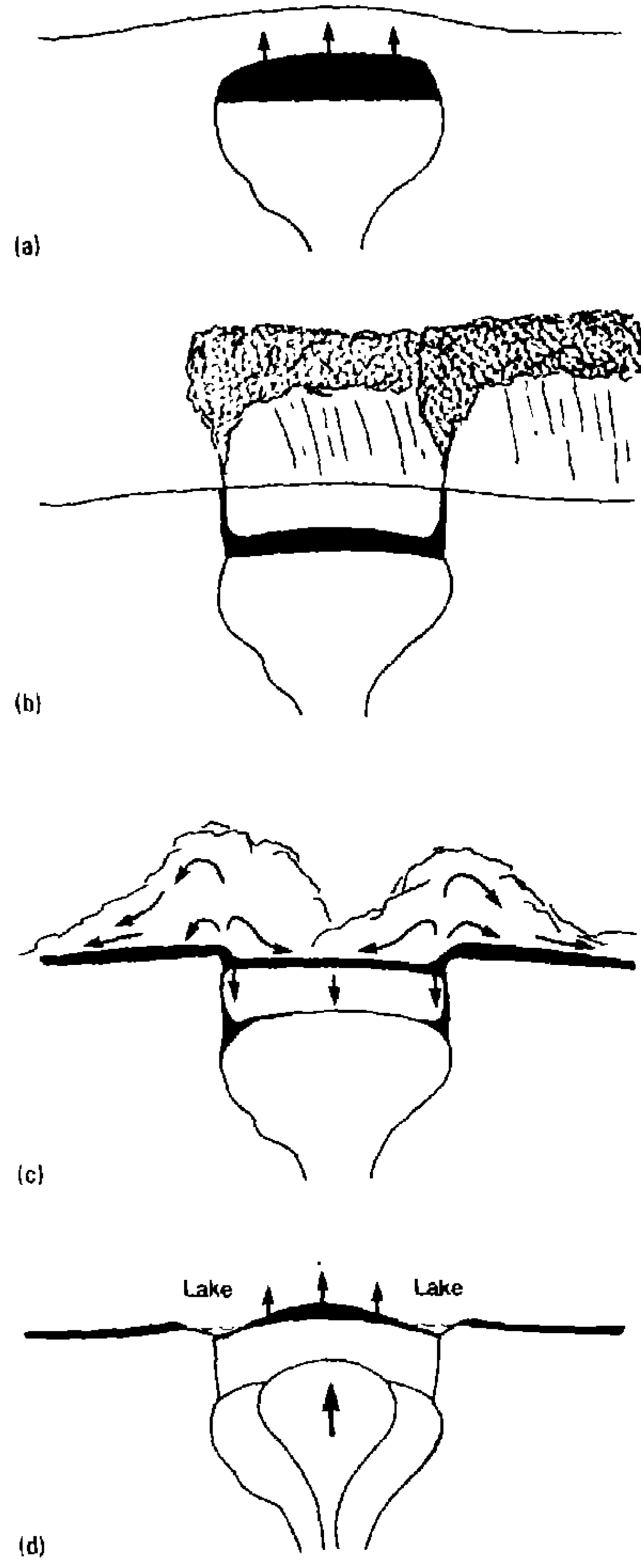
الشكل (٧-٢٩) معظم مدينة أرميرو في كولومبيا، ويرقد تحت الحمم الطينية التي يزيد سمكها عن ٨ أمتار (٢٦ قدما) ٢٢,٠٠٠ شخص من سكانها.



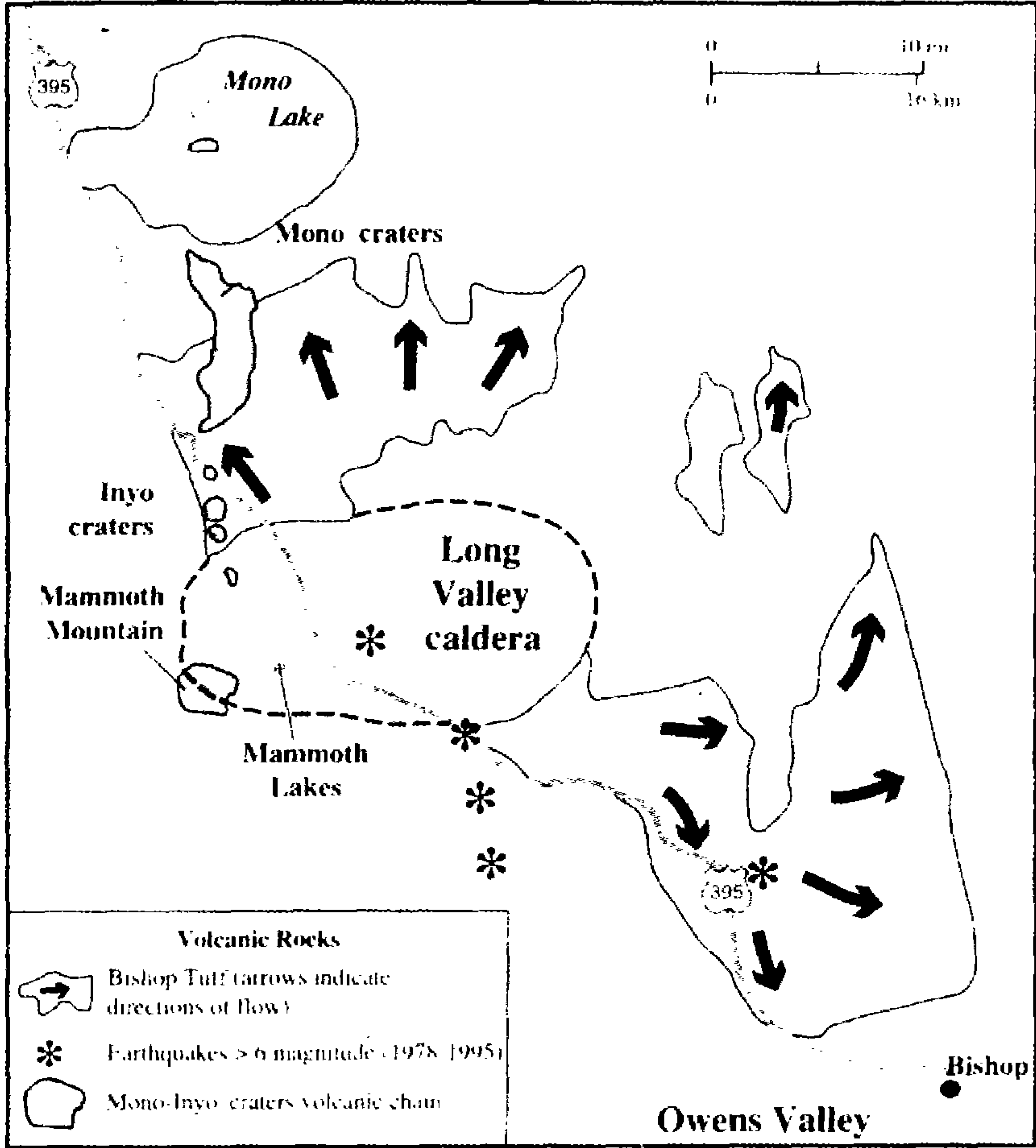
الشكل (٧-٣) يقع حارة نشيطة في ١٠ مليون سنة الأخيرة. والقارة القطبية الجنوبية غير موضحة هنا ولكنها تقع فوق ١١ بقعة حارة، وهي تطرح أسئلة حول الآثار التي تنجم عن إزاحة كل هائلة من الجليد.



الشكل (٣١-٧) منطقة البقع الحارة في يلوستون. فقارة أمريكا الشمالية تتحرك إلى الجنوب الغربي، ولهذا تنمو ريشة الصحارة في البقع الحارة تدريجياً إلى الشمال الشرقي مع مرور الزمن. وثارت ثلاث كالديرات عملاقة في ٢ مليون سنة الماضية - منذ ٢ مليون و ١,٣ مليون و ٠,٦ مليون سنة الماضية. وكانت المنطقة المظلة مغطاة بتدفقات صخرية فتاتية حرارية ساخنة أثناء ثورة ٦٠٠.٠٠٠ سنة الماضية.

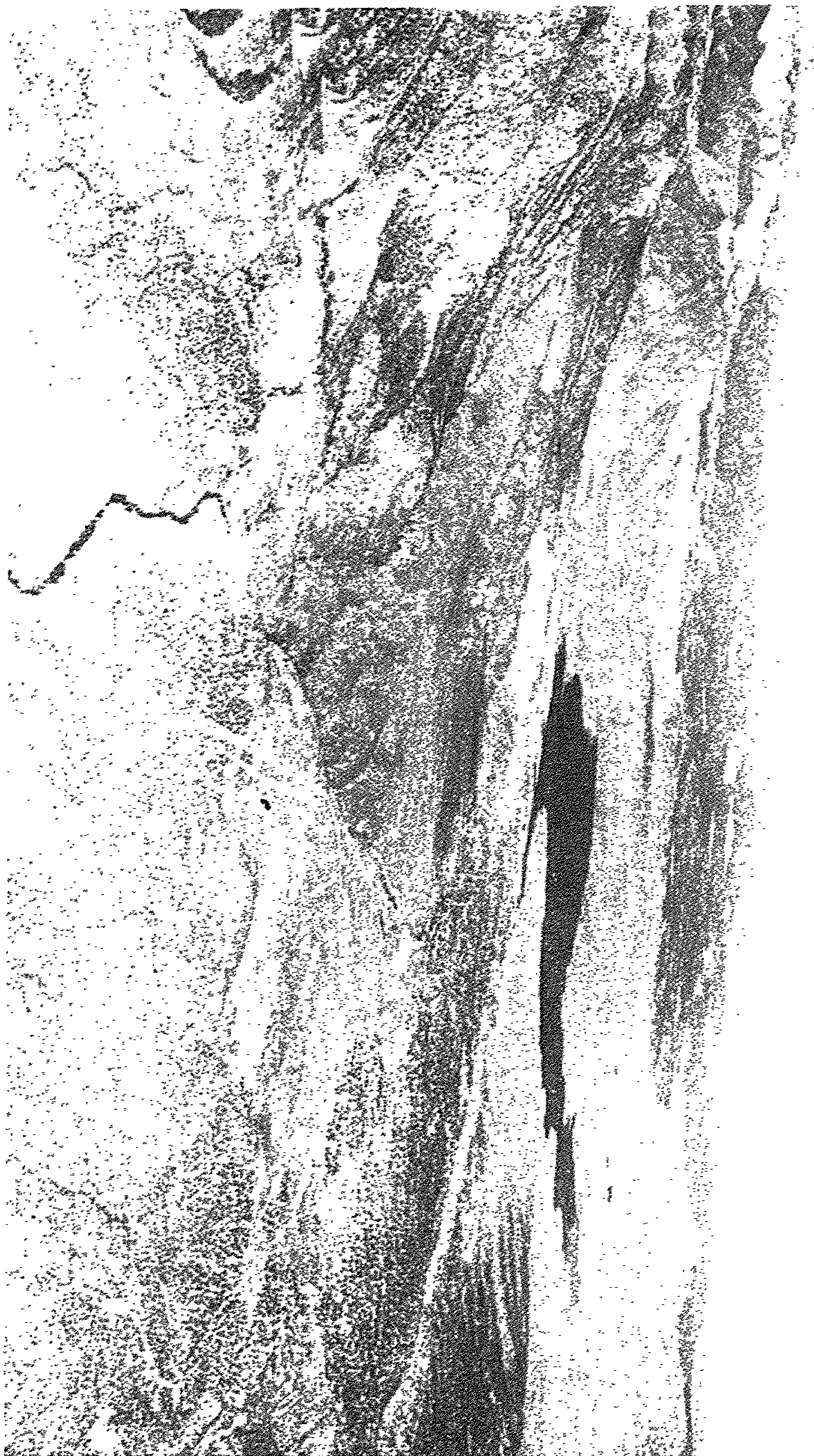


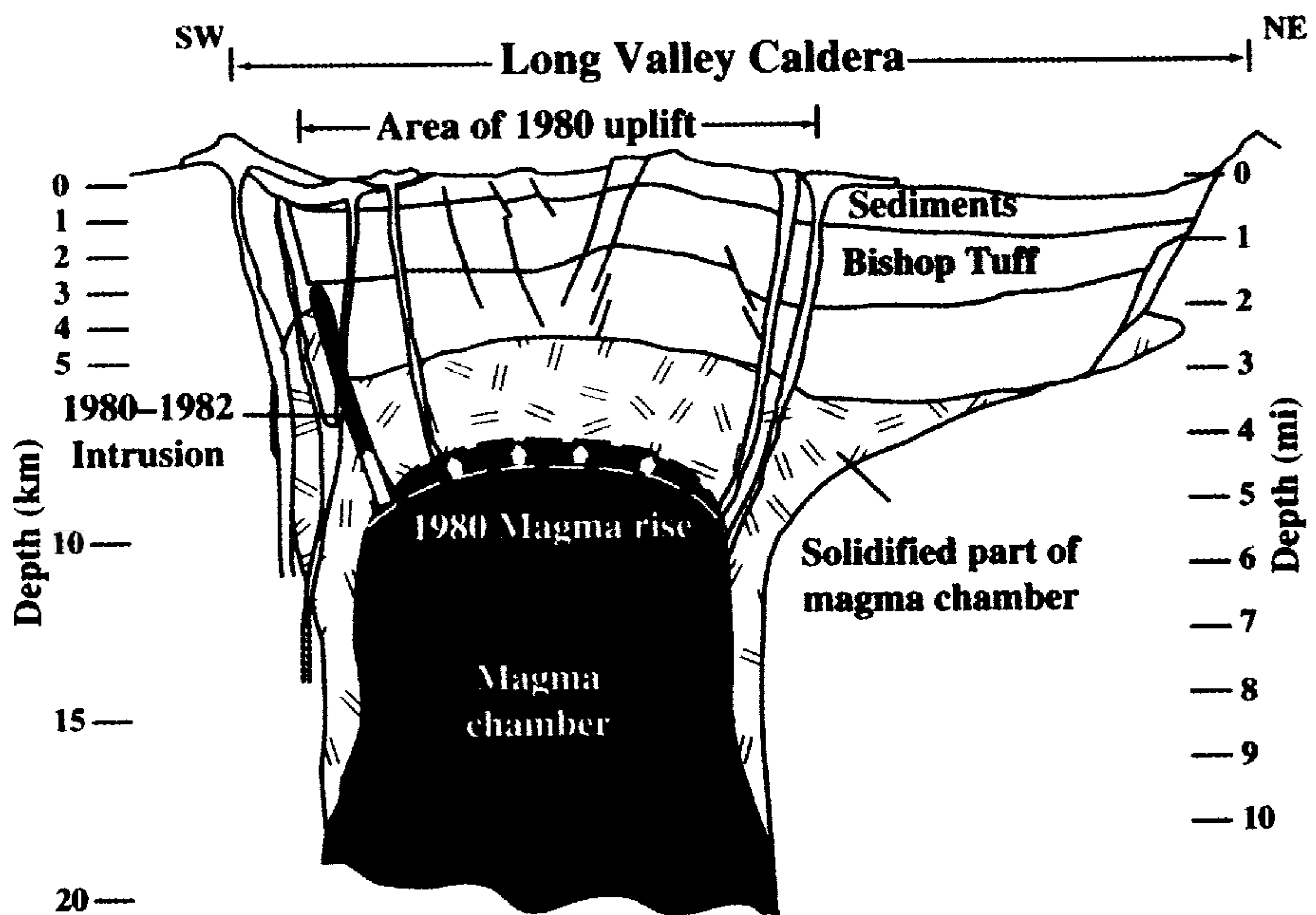
الشكل (٧-٣٢) مراحل تكوين كالديرات قارية عملاقة. (أ) تكوّن كتلة الصهارة المتصاعدة قمة قليلة الكثافة غنية بثاني أكسيد السيليكون SiO_2 والغازات فينبعج سطح الأرض إلى أعلى. (ب) وتبدأ ثورة بلايني من الشقوق الدائرية المحيطة بالانبعاث. (ج) وتسيل الصهارة في تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية بأحجام كبيرة فتؤدي إلى هبوط سطح الأرض على شكل كالديرات عملاقة. (د) ويخفّض زوال الصهارة من ضغط القشرة مما يؤدي إلى انبعاث قاع الكالديرا بفعل الصهارة الجديدة.



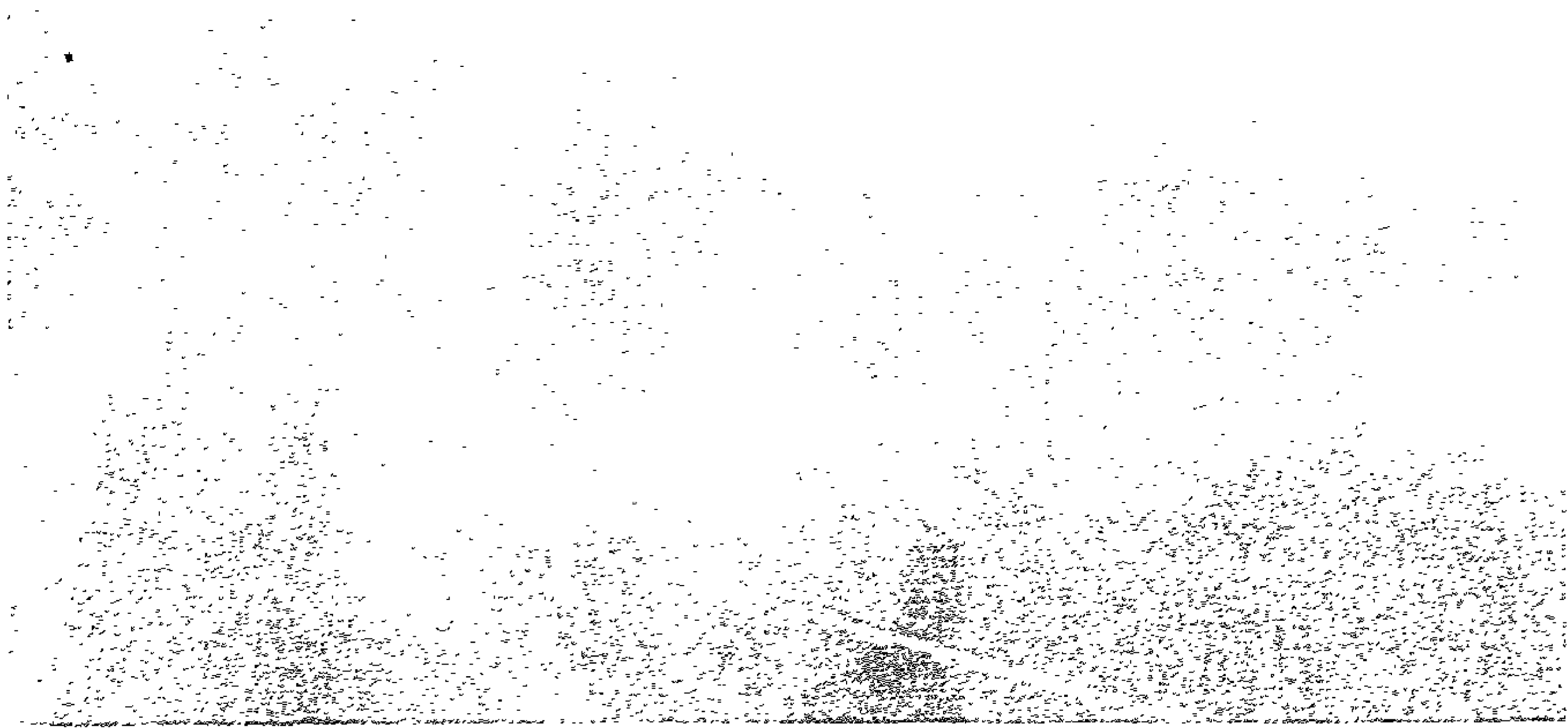
الشكل (٢٣-٧) خريطة توضح كالديرة لونج فالى التى تكونت من الثورات الكبيرة. وبيشوب طف أطلال غير متحاته من حطام الصخور الفتاتية الحرارية التى تراكمت من الثورات الكبيرة الأخيرة.

الشكل (٧-٣٤) صورة على مجموعة الكالديرا في لونغ فالى في كاليفورنيا.





الشكل (٧-٣٥) قطاع مقطعي متجه من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي في كالديرا لونيغ قالي يوضح حجم وعمق كتلة الصهارة. ويتحرك التداخل الذي يشبه اللسان إلى أعلى في الحافة الجنوبية في الكالديرا في ١٩٨٠-١٩٨٢.



الشكل (٧-٢٦) ثورة نموذج فيزوف فى جبل بيناتيوبو فى يوم ١٥ يونية ١٩٩١ التى استمرت ١٥ ساعة ودفعت تدفقات من الصخور الفتاتية الحرارية سالت تحت المنحدر (من اليسار إلى اليمين). مقياس قوة البركان = ٦.

مراجع الفصل السابع

نصوص ومراجع مقترحة Suggested Readings and References

- Crandell, D. R., and Nichols, D. R. (1987). *Volcanic hazards at Mount Shasta, California*. U.S. Geological Survey Publication.
- Crandell, D. R., Mullineaux, D. R., and Rubin, M. (1975, 7 February). Mt. St. Helens volcano: Recent and future behavior. *Science*, 187, 438–41.
- Decker, R., and Decker, B. (1998). *Volcanoes*. New York: W. H. Freeman.
- Perret, F. A. (1937). *The Eruption of Mount Pelée 1929–1932*. Washington, D.C.: Carnegie Institute of Washington.
- Sigurdsson, H. (ed.) (2000). *Encyclopedia of Volcanoes*. San Diego: Academic Press.
- Swanson, D. A., and Christiansen, R. L. (1973, October). Tragic base surge in 1790 at Kilauea volcano. *Geology*, 83–86.
- Vallance, J. W., and Scott, K. M. (1997). The Osceola mudflow from Mt. Rainier. *Geological Society of America Bulletin*, 109, 143–63.
- Volcanoes and the Earth's Interior*. (1982). Readings from *Scientific American*. San Francisco: W. H. Freeman.

Videos

الفيديو

- The 1902 Eruption of Mont Pelée. (1988). Michigan Tech University (20 min.).
- Volcanoes—Our Fiery Neighbors. (1990). KGO-TV San Francisco (22 min.).
- Anatomy of a Volcano—St. Helens. (1981). Time-Life (57 min.)
- Volcanic Eruption in Colombia. (1988). Pan-American Health Organization (15 min.).
- Volcano: Nature's Inferno. (1997). National Geographic Society (60 min.).
- Raging Planet: Volcano. (1998). Discovery Channel (50 min.).

الفصل الثامن

حركات الكتل

من الملامح المميّزة	للجـاهـلـين من البـشـر
تسرّع في قولهم	وتشدد في رأيهم
والعالم المتسمكن	حـصـيف في التدبر
ودائمًا يتطور	ويقبل المجاذلة
فـالـعلم ذو فـوائـد	ووسائل ميسرة
إذ ينعش الضمائر	لدى العقول النيرة
يسلّم بالدلائل	ومما يراه في يده
ويستعد دائماً	للاعتراف بالخطأ

برتراند راسل، ١٩٢٨

الخطوط العريضة في الفلسفة

تتحرك أحجام كبيرة من المواد على المنحدرات تحت سحب الجاذبية، ويحدث بعضها على شكل كارثي. وحركات الكتل هذه تحدث في جميع أنحاء العالم. وفي الولايات المتحدة لا تستثنى منها ولاية. ولا يُبلغ عن معظم حركات الكتل على انفراد، بل تُبلغ ضمن وصف الأحداث التي حفزت حركاتها مثل الزلازل وثورات البراكين والعواصف الممطرة الكبيرة. وتتسبب حركات الكتل في الولايات المتحدة سنوياً في حوالي ١,٥ بليون دولار من الخسائر و٢٥ من القتلى. ففي الولايات المتحدة يحدث كل عام حوالي مليوني حركة للكتل.

دور الجاذبية

الجاذبية عنيدة، إذ تعمل ٢٤ ساعة في اليوم، وتعمل في جميع أيام السنة وتطبق قانون الجاذبية بشدة. فالسحب الدائم للجاذبية هو القوة المباشرة الكامنة في عناصر التحات (الفصل الأول). فالأمطار تسقط والماء يتدفق والجليد ينزلق والرياح تهب والأمواج تتكسر تحت تأثير الجاذبية. ولكن الجاذبية كذلك تستطيع أن تحدث تغيرات كبيرة وهي تعمل تلقائيا في معظم الأحيان بدون تدخل من عناصر التحات الأخرى. والعمل الذي تضطلع به الجاذبية وحدها هو موضوع هذا الفصل.

فالجاذبية تسبب حركات الانزلاقات الأرضية إلى أسفل وإلى الخارج والانهيال إلى أسفل للهبوط الأرضي (الخشف). وإذا تيسر لها الوقت الكافي لسحبت كل الأراضي إلى البحار، ولملأت أحواض المحيطات ولسطحت الأرض. وعبر الآماد الطويلة للزمن الجيولوجي كان من الممكن أن تنهار كل المنحدرات؛ فالمنحدرات جميعها ينبغي النظر إليها على أنها في الأصل غير مستقرة. وانهيال المنحدرات قد تكون أحداثا كارثية جبارة، مثلما يحدث عندما ينفصل أحد أجناب الجبل ويزأر وهو يسقط؛ أو عندما يتشوه بهدوء منحدر التل ويستسلم لقوى الجاذبية العتيدة في العملية البطيئة جدا المعروفة بالزحف.

والجاذبية تسحب المواد إلى أسفل بقوة يمكن قياسها. فمثلا تخيل جلمودا وزنه رطل واحد يقع فوق منحدر مقداره ٣٠° (الشكل ٨-١). فالجاذبية تمارس سحبا للجلمود مقداره رطل واحد في اتجاه مركز الأرض؛ ولكن الأرض تبلغ من الصلابة بما لا يسمح للجلمود بالتحرك عموديا إلى أسفل. فعلاقات الدالة المثلثية بالمثلث تسمح بتقدير القوى الأفقية والرأسية الواقعة على الجلمود. ويمكن حساب قوة السقوط كالتالي ١ رطل × جيب الزاوية ٣٠° = $\frac{1}{2}$ رطل. وهذه القوة ذات $\frac{1}{2}$ رطل موجهة إلى أسفل المنحدر نحو الفراغ المفتوح؛ وكل ما يلزم هو بعض الطاقة المبدئية التي تتغلب على القصور الذاتي حتى يبدأ الجلمود في الحركة. وربما حدثت الطاقة المبدئية بفعل زلزال أو أمطار غزيرة أو وطأة حافر لأحد الخراف أو غير ذلك.

الزحف

تحت الجاذبية المواد على الحركة بالزحف، وهو أبطأ شكل من أشكال انهيار المنحدرات وأوسعها انتشارا. وغالبا ما يكون الزحف حركة ضئيلة غير محسوسة لانحدار التربة ومناطق الصخر الأساسى العلوية. ويمكن رؤية الزحف أكثر وضوحا بتأثيره على الأشياء مثل أعمدة الهاتف والأسوار، التى تميل للانحدار أو الأشجار التى تشوهت جذوعها وهى تنمو وترتفع بينما جذورها تمتد فى تربة تنزلق إلى أسفل (الشكل ٨-١٢). وتنزلق مناطق التربة فى حركات بطيئة للغاية عندما تنتقل جزيئات فردية وتتحرك استجابة للجاذبية؛ أما منطقة الصخر الأساسى العلوية فتخضع للسحب بالتقوس إلى أسفل (الشكل ٨-٢ب).

ما هى الآليات التى تحرك التربة والصخر بالفعل؟ أولا، لاحظ أن سطح الأرض ليس دائم الاستقرار؛ فهو يتحرك إلى أعلى وإلى أسفل. ثانيا، أن حجم التربة ليس دائم الثبات ولكنه يتمدد ويتقلص. وهناك عدة قوى تؤدى إلى تمدده. (١) فالتربة بها نسبة مئوية كبيرة من الثغرات الفراغية أو المسام. وعندما يتسرب الماء إلى تلك الثقوب المسامية ويتجمد يتمدد حجمه بنسبة ٩٪، فيتمدد حجم التربة ويرتفع سطح الأرض إلى أعلى. (٢) وعندما تتبلل التربة الغنية بالمواد القابلة للتمدد مثل المعادن الصلصالية تمتص الماء وتتمدد. (٣) وتؤدى حرارة الشمس إلى زيادة الحجم. وتتمدد التربة عموديا على سطح الأرض (الشكل ٨-٣).

وهناك قوى كثيرة تقلص كتل التربة والصخر والماء مسببة انخفاض سطح الأرض. فيحدث التقلص فى التربة: (١) بالذوبان. (٢) بالجفاف. (٣) بالتبريد. وانخفاض سطح الأرض يتأثر بسحب الجاذبية إلى أسفل محدثا حركة هبوط فى جزيئات منطقة التربة (الشكل ٨-٣). فالزحف تدفق بطيء إلى أسفل، ولكنه قد يتدرج إلى أنماط من التدفق الأسرع (الشكل ٨-٤).

أسباب انهيار المنحدرات

معظم الوفيات التي تحدث من حركات الكتل سببها الأنواع السريعة الحركة كما سجلها شاهد في مقبرة في ويستلاند في نيوزيلاند.

باتريك أوبريان

الذي قتله انزلاق أرضى

في يوم ٨ مارس ١٨٨٨

وعمره ٣٧ عاما

أنذر الموت الشهيد إنذارا قصيرا

ولذلك كن حريصا أين تحيا

واندم الندم السريع ولا تؤجل

لأن الموت لم يمهل قط

والانزلاق الأرضى المعهود هو كتلة تحرك مركز جاذبيتها إلى أسفل وإلى الخارج (الشكل ٨-٥). وهناك منطقة تمزق في أعلى المنحدر حيث تنسحب المادة إلى الخارج ومنطقة تجمع أسفل المنحدر تتراكم فيها المادة، والتقليل الشامل لزاوية المنحدر إحدى الخطوات لزيادة استقرار التل، ويعتمد الاستقرار على كل من العناصر الخارجية والعناصر الداخلية.

الأسباب الخارجية

تشمل القوى الخارجية التي تزيد من احتمالات انهيار المنحدر: (١) شدة انحدار المنحدر، مثل حركات الصدوع. (٢) إزالة الدعامات من تحت المنحدر مثل تحات النهر أو موجات المحيط. (٣) إضافة كتلة فوق المنحدر مثل ترسيب الرواسب.

وتتحرك بعض الانزلاقات الأرضية فوق سطح انهيار مقوس. ويمكن تقسيم المادة فوق سطح الانهيار إلى كتلة طاردة تبرز بميل من التل وكتلة مقاومة تميل إلى الاستناد على التل. والواقع أن المنحدر موقف متوازن، حيث تريد الكتلة الطاردة أن تنطلق وتتحرك إلى أسفل وإلى الخارج، ولكنها محبوسة بكتلة المقاومة التي تعمل كوتد يمسك بالكتلة الطاردة وبالمنحدر في مكانهما.

كيف يمكن للبشر أن يحدثوا انزلاقات أرضية؟ يمكننا إضافة حشوة من الأتربة (ردم) على منحدرات التل لتوسيع رقعة الأرض، وبهذا نضيف جديداً إلى الكتلة الطاردة (الشكل ٨-٦). ويمكننا إزالة مواد من قاعدة المنحدر لتوسيع طريق (الشكل ٨-٥ أ) أو لتوسيع رقعة البناء وبهذا تضعف كتلة المقاومة. وكثيراً ما تتكرر العمليتان في وقت واحد. وسواء أتمت بقوى الطبيعة أو بالقوى البشرية، فإن أى شئ يزيد من شدة الانحدار يحرك المنحدر نحو الانهيار.

الأسباب الداخلية

في داخل المواد التي تقع تحت السطح وأسفل المنحدر تحدث عمليات طويلة المدى تضعف الأرض وتؤهلها للسقوط. وتشمل الأسباب الداخلية لانهيار المنحدر: (١) المواد الضعيفة بطبيعتها. (٢) والماء في وظائفه المختلفة. (٣) وقلة التماسك. (٤) والبناء الجيولوجي المعاكس.

المواد الضعيفة بطبيعتها : وأكثر المواد ارتباطاً بالانهيار الأرضي هي معادن الصلصال. فالصلصال أكثر انتشاراً في جميع الرواسب. ويتكون أثناء التجوية الكيميائية(*) عندما تتعرض الصخور فوق السطح للتحلل وتكون معادن جديدة تحت ظروف الحرارة والضغط المنخفضين. وتحدث التجوية عندما تحلل السوائل الحمضية مثل الماء والماء المشبع بثاني أكسيد الكربون والأحماض العضوية المعادن. فمثلاً،

(*) تجوية كيميائية Chemical weathering تغيرات تطرأ على الصخور التي تتعرض لمياه المطر المحتوية على بعض الأحماض المخففة الناتجة من إذابة غازات مثل ثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت وأكسيد النتروجين (معجم الجيولوجيا - المترجم).

تحتوى الصهارة التى بردت على عمق ٥ أميال على معادن تبلورت بالتوازن بفعل الضغط العالى والحرارة التى تتراوح بين ١١٠٠ مئوية و ١٦٠٠ مئوية. وعندما تتعرض هذه المعادن فى السطح للعمليات التكتونية والتحات الطويل المدى تفقد توازنها بفعل أحوال الضغط المنخفض والحرارة المنخفضة على السطح. وهذه المواد يحتمل أن تتحول إلى تراكيب ذرية جديدة لتحقيق التوازن. ففى عملية التحلل يتحول التركيب الذرى البسيط نسبيا لهذه المعادن مثل الفلسبار(*) إلى تراكيب متنوعة من معادن الصلصال.

ونظرا إلى أن معظم التركيبات الكيميائية للفلسبار والصلصال متماثلة، فإن تركيبهما الداخلى مختلف. فبلورات الصلصال صغيرة جدا - لايراها المجهر العادى. ومعادن الصلصال تبنى مثل الكتاب المجهرى (الشكل ٨-٧). فمن النظرة العليا يتساويان تقريبا فى الأبعاد. ولكن النظرة الجانبية توضح أبعاد أكثر دقة يمكن أن تنقسم كذلك إلى شرائح أرق شبه متوازية مثل صفحات الكتاب. والتركيب الذى يشبه الكتاب يتكون نمطيا فى منطقة التربة حيث يجرد الماء العناصر، تاركا كثيرا من المواقع الذرية التى لم تملأ فى تراكيب بلورية. وهذا يشبه تركيب لعبة تينكر أو تركيبة ليجو عندما يترك عددا هائلا من القطع.

وعندما تستوعب معادن الصلصال مختلف العناصر وتفقد عناصر أخرى فإن قوتها تزداد وتضعف، وتتمدد وتتقلص وقد تمتص الماء وتفقده فيما بعد. وتحدث الظروف الدائمة التغير تنويعات فى قوة معادن الصلصال من شهر إلى آخر ومن سنة إلى أخرى؛ ولهذا فهناك أوقات معينة يضعف فيها التل المحتوى على معادن صلصالية، وحينئذ تحين الفرصة المناسبة للجاذبية لتحث على انهيار المنحدر.

وتقدر خصائص القوة والخصائص الميكانيكية للصخر عادة بمقدار ١٠-١٥٪ من الصخر فى أدق حبيباته حجما. وربما نقصت قوة المعادن الصلصالية بالماء:

(*) فلسبار - فلدسبار feldspar معدن يتركب من سيليكات الألومنيوم وبعض العناصر القاعدية. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

(١) الذى امتصه خارج الصلصال، وبهذا يفرق الحبيبات، (٢) والذى امتصته الشرائح المتطابقة وبهذا يتمدد.

ومن الأمثلة المنظورة لانهيئات المنحدرات ما يقوم به الصلصال السريع، أكثر الرواسب خفة فى الحركة. والصلصال السريع كثير فى إسكانديناوة وشرقى كندا. وفى شمال شرقى الولايات المتحدة. والصلصال السريع يبدأ على شكل مسحوق ناعم من الصخر تسحقه الثلجات الضخمة من الأرض وترسبه فى البحار القريبة. وتقع رواسب الصلصال والغرين فى تركيبات غير محكمة من البيوت الورقية المملوءة بالماء وبعض أملاح البحر التى تساعد على تماسكه مع بعضه على شكل صلب ضعيف (الشكل ٨-٨). وعندما تتراجع المجلدات ترتفع منطقة الرواسب الصلصالية بخاصية الارتداد المتوازن فوق مستوى سطح البحر (انظر الفصل الثانى). وبمرور الماء العذب فى الرواسب التى ارتفعت يحل ويذيل كثيرا من ملح البحر «اللاصق» تاركا الصلصال السريع فى: (١) تركيب ضعيف. (٢) معظم حبيباته أقل فى القطر من ٠.٠٠٢ مم. (٣) تزيد محتوياته من الماء عادة عن ٥٠٪. (٤) محتوى قليل من الملح. وباختصار، فإن بناء «المنزل الورقى» يمكن أن ينهار بحادث ارتجاج مثل انفجار بالديناميت أو باهتزاز من مكونات البناء.

وما كان أرضا صلبة قد يتحول مباشرة إلى سائل ويتدفق. وتبدو هذه العبارات مبالغا فيها. فكيف يمكن لأرض كانت تحرث وتزرع ثم يبنى عليها وتحتلها عدة أجيال أن تتحول فجأة إلى سائل يتدفق؛ فانهيار «المنزل الورقى» بمحتواه الكبير من الماء يكون سائلا طينيا. ولكى نتأكد من ذلك حقا علينا أن نراه رأى العين. شاهد شريط الفيديو بعنوان *Rissa Landslide, Quick Clay in Norway*؛ فهو شريط يخيف مشاهده عندما يرى الأرض الصلبة تتحول فجأة إلى سائل يتدفق، حاملا معه البيوت المشيدة فوقه. فانهيارات منحدرات الصلصال السريع (السواخ) تسببت فى تدمير عدة مبان وفقد الكثير من الأرواح. وهذه الأحداث سوف تتكرر أكثر من مرة طوال عمر الفرد.

وحدث مثال آخر أثناء سقوط الأمطار الغزيرة فى عام ١٩٩٣ بالقرب من جى ليمبيه فى أونتاريو فى كندا. وفى ظرف ساعة من بعد ظهر يوم ٢٠ يونية سالت كتلة

حجمها ٣,٥ مليون متر مكعب وتدفقت حاملة معها الغابات وسلسلة الجبال في نهر نيشان الجنوبي (الشكل ٨-٩). وتفيد تقارير الشهود العيان بأنهم رأوا موجات متدفقة من الأرض التي تحمل فوقها الأشجار في النهر محدثة أمواج ارتفاعها ٣ أمتار (١٠ أقدام) في أعلى النهر وفي أدناه. وهكذا أعيقت التنمية البشرية في المنطقة. فكيف تستطيع العيش في أرض قد تتحول إلى سائل؟

الماء في وظائفه المختلفة : والماء يضعف المواد الأرضية بشتى الطرق: (١) بالوزن. (٢) بالتفاعل مع المعادن الصلصالية. (٣) بتقليل تماسك الصخور. (٤) بالتحات تحت السطح. (٥) بالضغط في مسام الصخور والرواسب.

١- فالماء ثقيل. وعادة ما تكون نسبة المسامية في الصخور الرسوبية من ١٠ حتى ٣٠٪. وعندما تمتلئ هذه الفراغات المسامية بالماء تزيد أوزان المواد إلى حد كبير، ولذلك تزيد الكتل الطاردة من مواد المنحدر وقد تبدأ حركات الكتل.

٢- تمتص المعادن الصلصالية الماء داخليا وخارجيا ويترتب على ذلك ضعف قوتها. فكيف تتشبع المعادن الصلصالية بالماء بسهولة؟ بسبب تفاعل الماء الفريد مع الشحنات. فالماء جزئ يتكون من ذرتين إيدروجين موجبة (H^+) متحدتين بذرة واحدة من الأكسجين سالبة (O^-). فالشحنتان الموجبتان من ذرات الإيدروجين تلاشيان الشحنتين السالبتين من ذرة الأكسجين لتكوّن جزيئا متعادلا أو غير مشحون. ولكن الماء جزئ ثنائى الأقطاب (الشكل ٨-١٠أ)، بذرات الإيدروجين في جانب (الجانب الإيجابي) وبذرة الأكسجين في الجانب الآخر (الجانب السلبي). وبذلك تستطيع جزيئات الماء أن تتصل بجانبها الإيجابي بمعادن الصلصال، لأن أسطح الصلصال سالبة الشحنة (الشكل ٨-١٠ب).

٣- ويمكن للماء المتسرب خلال الصخور أن يذيب بعض المعادن التي تربط الصخور ببعضها ببعض. وتسبب إزالة المادة اللاصقة خفضا في درجة تماسك الصخور مما يؤدي إلى إضعاف بعض قوة المنحدر ويؤهلها للانهيال بفعل حركة الكتلة.

حدث مثال قاتل في انهيار سد سانت فرانسيس الواقع علي بعد ٧٣ كم (٤٥ ميلا) من شمالى لوس أنجيلوس فى كاليفورنيا. وكان السد كتلة خرسانية ثقيلة،

بنى فى عام ١٩٢٦ على وادى سان فرانسيسكييتوس الضيق. ولسوء الحظ أن يكون جزء من أساس السد واقعا فوق كتلة ضعيفة من الحصى والرمل والطين ضمتهم جميعا طبقة خارجية من الصلصال وربطتهم معادن من الجبس. وفى خلال سنتين حُلَّ ماء البحيرة طبقة الجبس الأسمنتية فأضعفت الصلصال مما أدى إلى الانهيار الكارثى للسد. وفى حوالى منتصف ليلة ١٢ مارس ١٩٢٨، انهارت قاعدة السد فانطلق منها حائط من الماء ارتفاعه ٥٦ مترا (١٨٥ قدما)، وتحرك بسرعة ٢٩ كم/ساعة (١٨ ميلا فى الساعة). وجرى الماء المنطلق من السد لمدة ٥ ساعات و ٢٧ دقيقة لمسافة ٨٧ كم (٥٤ ميلا) فى نهر سانتا كلارا حتى وصل إلى المحيط الهادى. ونظرا لجريان الماء ليلا فقد أغرق ٤٢٠ شخصا.

٤ - والماء المتدفق تحت الأرض لا يحلل المعادن كيميائيا فقط، بل يحت فيزيائيا المعادن الخالصة. ويمكن للتحات تحت السطح (السحب بالأنابيب) أن يوجد منظومات واسعة من الكهوف الكبيرة (الشكل ٨-١١). فشبكة الكهوف الكبيرة من الواضح أنها تضعف التل.

٥ - يتجمع الضغط فى الماء المحبوس فى ثقب الصخور نظرا إلى أنه مدفون فى الأعماق. وعندما تتراكم الرواسب فوق السطح يزيد وزنها من الضغط الواقع على الرواسب وماء المسام فى العمق. وتتجمع حبيبات الرواسب من الرمل والطين فى أحجام أصغر فأصغر، بينما الماء الذى لا ينضغط تقريبا يختزن ببساطة الضغط المتجمع. وعندما تقع كومة من الرواسب فوق ماء المسام المضغوط للغاية، تصبح الكتلة بأسرها أقل استقرارا. ويسمى تجمع الضغط فى ماء المسام «الرافعة المائية» التى ترفع الرواسب بالتدريج حتى يبدأ سحب الجاذبية فى الانهيار الشامل. فكثير من حركات الكتل وانهيارات المنحدرات يرجع إلى ضغوط ماء المسام غير العادية.

ويحدث الرمل الناعم السواخ(*) حين تتشبع للغاية حبيبات الرمل بالماء المضغوط. فمثلا، إذا ارتفع الماء خلال الرمل وساعد على رفع حبيبات الرمل؛

(*) رمل سواخ quicksand الرواسب الرملية الدقيقة الجيدة الفرز المنتفخة نتيجة كون جسيماتها مرتبة بحيث تحوى فيما بينها أكبر حجم ممكن من الفراغات، وهذه الرواسب تنكمش سريعا بأقل ضغط يقع عليها فتسوخ فيها أقدام المارة. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

فإن سحب الجاذبية على حبيبات الرمل يمكن أن يتلاشى بفاعلية، تاركا الرمل بلا قدرة ولا قوة على حمل الحمل (الشكل ٨-١٢). (والواقع أن ضغط ماء المسام (h_w) يساوى وزن الرمل (أ)، تاركا الرمل غير المتماسك بدون جهد للقَص).

وإذا كان الرمل الواقع تحت ضغط الماء موجودا فوق منحدر فسوف يتدفق للخارج؛ ولكنه إذا وقع فوق سطح مسطح فسوف يكون رملا سواخا. وعلى الرغم مما تظهر بعض الأفلام السينمائية القديمة، فإن الرمل السواخ لا يغرق فيه الناس ولا الأشياء الأخرى. فهو مجرد شيء أشبه بمن يسير في ماء غليظ القوام جدا فإذا وقفت فيه مدة طويلة فإنك تغرق تحت سطحه. فماذا تعمل إذا تورطت فيه؟ إذا كان الماء ليس عميقا جدا، استلق على ظهرك وافرد ذراعيك حتى لا تغرق؛ فهذا يوزع ثقل جسدك مثل الزورق في الماء. ثم اطلب من زملائك أن يجذبوك للخروج منه؛ فإذا كنت وحيدا فعليك أن تسلك جسدك ببطء لتستلقى على ظهرك حتى يتوزع ثقل جسدك، بينما تجذب ساقيك من قبضة الرمل السواخ. فالرمل السواخ يحكم قبضته، ولهذا لا تنزعج واضرب بساعديك بشدة لتخرج نفسك. فالبطء مع اليسر هما السبيل إلى الخلاص مع تمديد جسدك حتى يتوزع وزنك.

نقص التماسك

عندما تدفن الصخور في أعماق عشرات ومئات وآلاف الآلاف من الأقدام فإنها تنضغط إلى أحجام أصغر بثقل المواد التي تعلوها. ولكن هذه العملية كذلك تؤدي إلى عكس ذلك. وعندما تدفن الصخور في العمق تكشفها التعرية وتعرضها على السطح، فتزول من فوقها الأوزان الثقيلة ويرتخي الصخر المضغوط ويتمدد. ونتيجة للتمدد تحدث شقوق وزيادة في المسامية. وتقلل عملية التضاغط والتمدد من قوة الصخور فاتحة الطريق والمكان لمرور الماء وتخزينه فيهماجم الصخور ويزيد من ضعفها.

التركيب الجيولوجى المعاكس

كثير من الكتل فى منحدرات التلال تكون ضعيفة نظرا لظروف جيولوجية سابقة. ويوجد الضعف على شكل: (١) سطوح منزلقة سابقة. (٢) تطابق للصخر بميل أقل من المنحدرات. (٣) التركيب الداخلى للصخور مثل نقط الاتصال والشقوق والصدوع القديمة وطبقات الصلصال الرقيقة والاتصال بين الصخور اللدنة والصخور الصلدة.

١ - فالسطوح المنزلقة السابقة ضَعْفٌ يميل إلى إعادة إجهاده ثانية بمرور الزمن. وعندما تنفصل كتلة لأول مرة ثم تنزلق إلى أسفل تميل إلى تكوين طبقة مصقولة زلقة من المواد الأرضية تحتها (الشكل ٨-١٢). وهذه الطبقات المصقولة تصبح زلقة بنوع خاص عندما تبلل. وفى الأماكن المطلوب فيها البناء يحتاج الأمر إلى تمييز هذه الأسطح الزلقة المصقولة وحفرها وإزالتها؛ هذا وإلا استعادت نشاطها عندما تبتل محدثة خسائر مالية كبيرة وجالبة الغم لملاك المباني. وكثيرا ما تبلغنا الأنباء عن تكرار هذا الاحتمال مع الأسف الشديد.

٢ - ربما أحدث اتجاه تطابق الصخور فى التل ظروفًا إما قوية أو ضعيفة. فعندما تميل طبقات الصخور بزوايا تقل عن درجة انحدار التل، تكون الساحة مهيأة للانزلاق وحركات الكتل (انظر الجانب الأيمن من المنحدر فى الشكل ٨-١٢). وتعرف هذه الحالة بالأساس الذى يتخلله ضوء النهار حيث تكون أطراف طبقات الصخر اللطيفة الميل معرضة لضوء النهار فى المنحدر الحاد. وفى الجانب الآخر من التل ذاته تميل طبقات الصخور ذاتها بزواوية حادة مما يعرقل الانزلاق الكبير عن المبادرة بالحركة والانطلاق. وهذه العلاقة الوثيقة يجب وضعها فى الاعتبار عند اختيار موقع لمنزل أو بناء.

٣ - وبالصخور نقاط ضعف تؤدي إلى انهيار المنحدرات حيث: (١) تكون الصخور غير متماسكة مع بعضها البعض. (٢) أو ربما تهين الطبقة الصلصالية أساسا لسطح منزلق. (٣) أو قد تنزلق طبقات الصخور اللدنة على مواد قوية. (٤) أو تنقسم نقط الاتصال وتنفصل الصخور. (٥) أو يعمل صدع قديم كسطح زلق.

محفزات لحركات الكتل

لا تضعف المنحدرات عادة لسبب واحد. فمعظم الإجهادات تحدث لعدة أسباب. فعلى المدى الزمني البعيد يتكون المنحدر وتستمر الجاذبية في السحب ويظل الماء ينقع حتى تضعف قوتها. وفي مناسبات عديدة يجهد المنحدر. ثم يأتى على المنحدر إجهاد آخر مثل الأمطار الغزيرة فينهار المنحدر فى آخر الأمر فى حادث كبير. فهل كان آخر إجهاد مثل التشبع بالأمطار الغزيرة هو سبب الانزلاق؟ أم كان مجرد حافز لحركته، مثل الحكمة القائلة: القشة التى قسمت ظهر البعير؟ والواضح أن الأمطار كانت حافزا أو سببا مباشرا لحركة الكتلة.

ومن المفيد أن نميز بين الأسباب المباشرة والأسباب الأساسية. فمجموع الأسباب الأساسية تدفع المنحدر إلى حافة السقوط. ثم يأتى السبب المباشر فيحفز الحركة وتتضمن الحوافز الشائعة لحركات الكتل الأمطار الغزيرة والزلازل وذوبان الجليد وأكثر من ذلك بكثير مشروعات البناء التى يقوم بها الناس.

حاشية جانبية: تحليل استقرار المنحدرات

يبدأ تحليل المنحدرات لمقاومة انهيارها عادة باستخدام معادلة كولومب تيرزاغى:

$$S = C + (P - h_w) \tan \phi$$

حيث S هي مقاومة القص، مجموع الخصائص التى تحفظ الكتلة فى مكانها؛ C هي التماسك، مقياس كيفية تماسك المادة بالتفاعلات التى تتم بين جزيئاتها (مثال، لا يوجد تماسك إلا قليلا بين حبيبات بلورات الرمل أو المرو أو الكوارتز^(*)، ولكن هناك تماسكا شديدا بين رقائق الصلصال)؛ P هي وزن المواد الصلبة والماء فوق السطح

(*) المرو (كوارتز) quartz معدن عديم اللون إذا كان نقياً. تركيبه الكيميائى أكسيد السيليكون SiO₂، يتبلور فى النظام السداسى، درجة صلابته ٧ وكثيراً ما يحمل شوائب تعطيه ألواناً مختلفة، وعندها يسمى بأسماء أخرى تعتبر ضرورياً من معدن المرو. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

المحتمل انزلاقه؛ h_w هو ارتفاع عامود الماء مضروباً في كتلة وحدة الماء؛ $\tan \phi$ هي ظل زاوية الاحتكاك المماس (الداخلي) - وتقاس زاوية ميل السطح بالدرجات من المستوى الأفقي.

فماذا يعنى كل هذا؟ قوة جانب التل أو كتلة المادة تأتي من: (١) تماسكها، كيف تلتصق جيداً ببعضها البعض، بالإضافة إلى (٢) وزن جميع موادها تحت سحب الجاذبية. وعناصر الاستقرار هذه تتشعب بالآتي: (أ) ضغط ماء المسام، بالإضافة إلى (ب) الزاوية التي تتشقق فيها كتلة الصخر، زاوية انحدار السطح. وزاوية السقوط قليلة أو قريبة من الأفقية بالنسبة للمواد الضعيفة، مثل الصخر الرسوبي الغني بالصلصال، وتكون حادة أو قريبة من الرأسية بالنسبة للصخور الصلدة مثل الجرانيت.

وعندما يعادل ضغط الماء المسامي (h_w) وزن المواد التي فوقه (P)؛ فإن قوة مقاومة القص الوحيدة للمادة تأتي من التماسك. فإذا كانت هذه المواد ذات قوة تماسك قليلة مثل رماد المرو، فحينئذ لا تتوافر في المادة القوة الفعالة فتتعرض للسقوط. ومثال ذلك الرمل السواخ.

تصنيف حركات الكتل

من العناصر المهمة في تحديد النماذج المختلفة لحركات الكتل سرعة الحركة والمحتوى من الماء (الشكل ٨-١٤). فالكتل البطيئة الحركة تحدث قدراً هائلاً من الدمار والخسائر في الأموال، بينما الكتل السريعة الحركة لا تدمر فقط بل تقتل كذلك (الجدول ٨-١).

وحركات الكتل السريعة الحركة كانت ولا تزال فتاكة على المدى الطويل في جميع أنحاء العالم (الجدول ٨-٢).

والنماذج الرئيسية لحركات الكتل إما متجهة إلى أسفل مثل السقوط أو الخسف (الهبوط)؛ أو متجهة إلى أسفل وإلى الخارج مثل الانزلاق والتدفق (الشكل ٨-١٥). فالسقوط متجه إلى أسفل من مكان طبوغرافى مرتفع التضاريس مثل الجرف أو الجبل؛ بينما الخسف متجه إلى أسفل عن طريق انهيار السطح. ويحدث الانزلاق عندما تنزلق كتلة شبه متماسكة إلى أسفل وإلى الخارج فوق سطح أسفل من المنهار.

ويحدث التدفق عندما تظهر الكتلة المتحركة على شكل سائل لزج يتدفق إلى أسفل وإلى الخارج فوق المناطق الريفية. وسوف نشرح نماذج الحركات في سلسلة من الأمثلة مثل السقوط والتدفق والانزلاق والخسف.

السقوط

يحدث السقوط عندما تنفصل الكتل الصخرية العالية عن نقط الاتصال أو الأساس أو الإجهادات الأخرى (الشكل ٨-١٦). فعندما تنفصل كتلة تسقط غالبا إلى أسفل في الهواء بالسقوط الحر، وبعد ارتطامها بالأرض تتحرك بالوثب أو بالتدحرج. وحوافز السقوط ربما كانت الأمطار الغزيرة أو خوابير الجليد أو الزلازل أو غير ذلك، وربما كنت أنت عنصرا محفزا لسقوط صغير في وقت أو في آخر!

المنتزه الوطنى فى يوسمايت فى كاليفورنيا : فى فصل الصيف يمتلئ وادى يوسمايت بالزوار الذين يملؤهم الانحدار الشديد لحواف الوادى وشلالاته رعبا. ولكن الحواف الحادة الانحدار هى الأخرى مواقع لسقوط الصخور بفعل الجاذبية. ففى الساعة ٦,٥٢ من صباح يوم ١٠ يوليو ١٩٩٦ وتحت نقطة المجلدة انفصل عن جدار الوادى العميق جرف وزنه ١٦٢٠٠٠ طن من صخر الجرانيت وانقسم إلى كتلتين منفصلتين وسقطا بفاصل بينهما ١٤ ثانية. انزلق كل منهما إلى أسفل من ١٦٥ مترا (٥٤٠ قدما) ثم اندفع فى الهواء لمسافة ٥٠٠ متر (١٦٤٠ قدما) وسقط فى خط مرور مقوس بسرعة ٢٧٠ ميلا فى الساعة قبل أن يضرب قاع الوادى ويتحطم مكونا سحابة مربعة من فتات الصخور وتدحرجت عبر الوادى وانفلقت على الحائط المقابل للوادى قبل أن تستدير وتستقر فى قاع الوادى الضيق العميق (انظر ملف الصور ص ١٥٠ لهذا الحادث فى الفصل الثانى). دفعت الكتلة الصخرية العملاقة الساقطة الهواء أمامها فى عاصفة هوجاء أسقطت ما يزيد على ١٠٠٠ شجرة ناضجة وغطت ٢٠ إيكرا (*) بغطاء سمكه بوصة من الصخور المنسحقة. وارتطمت الكتل الصخرية الساقطة بالأرض

(*) الإيكرا = ٤٠٥,٠٠ هكتارا = ٤,٠٤٧ مترا مربعا. (المترجم)

محدثّة زلزالا قوته + ٣ وعامودا ارتفاعه ١ كم من الأتربة التي حجبت أشعة الشمس. ورغم هذا القدر الهائل من الطاقة الناجمة عن هذا السقوط المحطم المتدفق قتل شخص واحد - عمره ٢٠ سنة سحقته شجرة أطاحت بها موجة الهواء العاتية التي تقدمت كتلة الصخر الساقطة.

الانزلاق

الانزلاقات أو الانزلاقات الأرضية هي تحركات فوق واحد أو أكثر من الأسطح المنهارة (الشكل ٨-١٥). فالأسطح المنهارة أساسا إما أن تكون نمطيا: (١) مقوسة على شكل مقعر من أعلاه أو (٢) مسطح تقريبا.

الانزلاقات الدورانية

تتحرك الانزلاقات الدورانية إلى أسفل وإلى الخارج على سطح منزلق مقوس (الشكلان ٨-٥ ، و ٨-٦). فالحركة دورانية حول محور مواز للمنحدر. ويمكن تقريب وضع مركز الدوران بثقب قطاع مقطعى بنقطة البوصلة ثم إدارة البوصلة على المحور فى قوس لترسم سطح الانهيار الأساسى (الشكل ٨-١٧ أ). وهذا هو تحليل الدائرة السويدية لاستقرار المنحدر المستخدم فى حساب قوى الطرد مقابل قوى المقاومة بمفهوم رقمى عن كيف يوشك المنحدر على السقوط. فعندما يحدث تدهور على سطح مقوس تتحرك الرأس إلى أسفل وتدور نمطيا إلى الخلف (الشكل ٨-١٧ ب). ويكون الماء الساقط أو المتدفق فوق رأس الكتلة المنزلقة بركة فى الحوض الذى يتكون من الميل الخلفى. ويغطس الماء المحبوس فى الكتلة الهابطة مسببا مزيدا من عدم الاستقرار والحركة. ونظرا إلى أن المنحدر الشديد فى رأس الكتلة الهابطة يكون عموديا تقريبا، فهو غير مستقر، ولهذا يهوى الساحة لمزيد من حركة الكتل. وتتحرك مقدمة قدم الكتلة الهابطة إلى أعلى وتركب فوق سطح الأرض (الشكل ٨-١٧ ب).

إينسينادا فى باجا كاليفورنيا : تتضح معالم الصورة للانزلاق الدورانى بالكتلة المنحدرة فى إينسينادا فى باجا كاليفورنيا فى عام ١٩٧٦. بدأت تتكون الشقوق المقوسة بطول بضع مئات من الأمتار على منحدر أحد التلال على ارتفاع من ٩٠ حتى ١٢٠ مترا (من ٢٩٥ حتى ٤٠٠ قدم) فوق سطح البحر. وكلما اتسعت الشقوق زاد اهتمام معظم المواطنين بهذا الإنذار الطبيعى وقاموا بإخلاء منازلهم. ولم يغادر كل الناس، ولكن شخصين اختنقا أثناء نومهما ليلا عندما مزقت حركة الانزلاق البطيئة أنابيب الغاز الطبيعى داخل بيتهما. فالمنزلق الهابط ترك رأسا شديدة الانحدار (الشكل ٨-١٨). وحملت كتلة المنزل معها قطاعا طوله ٢٧٥ مترا (٩٠٠ قدم) من الطريق السريع رقم ١ فى المكسيك نحو المحيط الهادى (الشكل ٨-١٩). وبدأت مقدمة القدم بارزة إلى أعلى بطبيعة الحال عندما رفعت قاع البحر ٩ أمتار (٣٠ قدما) فوق سطح البحر (الشكل ٨-٢٠). وقضى السكان المحليون وقتا قصيرا فى جمع الحيوانات البحرية فى قاع البحر الذى ارتفع فوق مستوى سطح البحر.

ورغم أن سطح الانهيار الأساسى فى الدوران الانزلاقى مقعر فى اتجاه الحركة، فيندر أن يكون قوسا تاما كما رسمته طريقة تحليل الدائرة السويدية (الشكل ٨-١٧ أ). فلماذا؟ لأن سطح الكسر يقطع عادة مواد مختلفة الخواص والعناصر التى تؤثر على مسار التمزق. والفجوات مثل الصدوع ونقط الاتصال وتطابق الصخور ووجود العروق الغنية بالصلصال قد تغير شكل سطح الانهيار. وقد تحول انهيارات المنحدرات التى تبدأ على شكل انزلاقات دورانية الانزلاق السفلى إلى انزلاقات تحويلية.

الانزلاقات التحويلية

وفى الانزلاقات التحويلية تتحرك الكتل إلى أسفل وإلى الخارج بالانزلاق على أسطح الضعف مثل الصدوع ونقط الاتصال والطبقات الغنية بالصلصال والصخور اللدنة التى تنزلق على صخور صلبة والصخور الصلبة التى تنتشر متباعدة بحركات الصخور اللدنة التى تحتها. وربما يتحرك الانزلاق التحويلي طالما وقع على سطح يميل إلى أسفل مع بقاء كتلته الطاردة. وفى المقابل تتحرك الانزلاقات الدورانية مسافة

قصيرة فقط؛ وتميل حركتها القوسية إلى استعادة توازنها فوراً بسبب تناقص الكتلة الطاردة وتزايد كتلة المقاومة.

وتبدو كتل الانزلاقات التحويلية في عدة مظاهر: (١) فربما ظلت متماسكة أساساً على شكل انزلاقات متكئة. (٢) وقد تتشوه وتتحلل الكتلة المنزلقة لتكوّن انزلاقاً للحطام. (٣) وربما يحدث انتشار جانبي حيث تنهار وتتدفق المواد التي تحتها، وبهذا تنفصل وتتحرك المواد المتماسكة التي فوقها. ويمكن توضيح فكرة تنوع أساليب الانزلاقات التحويلية باستخدام أمثلة معينة.

بوينت فيرمين في كاليفورنيا : من الأمثلة الرائعة لانزلاق الكتلة ما وقع في شبه جزيرة بالوس فيرديس في لوس أنجيلوس، ففي الشرق مباشرة لبوينت فيرمين تحتوى الصخور على طبقات من الحجر الرملي والحجر الطيني الغنى بالصلصال تميل نحو البحر من ١٠ حتى ٢٢ درجة (الشكل ٨-٢١). بدأ في يناير ١٩٢٩ يحدث انزلاق كتلة طوله نصف ميل لكتلة من الأرض مساحتها ٥ إيكراً أخذت تنزلق ببطء نحو البحر من صخر الأساس المائل فوق طبقة زلقة خاصة من الصلصال. فسطح الانزلاق يقع على ميل غير مدعوم تحت الماء، ولهذا لا توجد كتلة مقاومة تمسك الكتلة في مكانها. وظلت كتلة الانزلاق أساساً متماسكة أثناء الحركة. ومنذ يناير ١٩٢٩ حتى يونيو ١٩٣٠ انتقلت الكتلة من ٢ حتى ٢,٥ أمتار (من ٦,٥ حتى ٨ أقدام) في اتجاه البحر. ولم يقتل أحد في هذه الحركة البطيئة ولكن البيوت الواقعة فوق جروف البحر على ارتفاع ٣٠ متراً (١٠٠ قدم) انفتلت ببطء وتحتمت إزالتها (الشكل ٨-٢٢). ويبدو أن الحركة تحفزت من الماء الزائد من رى الحوض الذي تسرب إلى الطبقات الضعيفة الصلصال التي تتمدد وتفقد قوتها حتى يبدأ الانزلاق. وتزداد معدلات التسارع في حركات الانزلاق بعد الزلازل.

قايونت في إيطاليا في ١٩٦٣ : ومن الأمثلة المذهلة للدمار الذي يمكن أن يحققه بأسطح المنحدرات، ما حدث في سد قايونت في إيطاليا في ١٩٦٣ بانزلاق حطام ضخم. فالسد مبنى في ١٩٦٠ عبر واد جبلى عميق في شمال شرقى إيطاليا بالقرب من النمسا وسلوفينيا. وحجز الخزان ١٥٠ مليون متر مكعب (٣١٦٠٠٠ إيكراً قدم)

من الماء. وتوجد عدة عناصر خطيرة في الموقع: (١) طبقات صخور رسوبية مطوية على شكل يشبه الحوض (قعيرة) لها صخور أساسية مسطحة على كلا الجانبين لوادي النهر (الشكل ٨-٢٣). (٢) شقت مجموعتان من الشقوق الصخور ففصلتها. وهذه الشقوق تكونت في البضع آلاف سنة الأخيرة عندما ارتدت الصخور القريبة من السطح إلى أعلى نظرا لزوال المجلدة الواقعة فوقها. وعندما زالت المجلدة قطع النهر الوادي الضيق العميق على شكل حرف ٧ وتشققت جوانب الوادي عندما تمددت إلى الفراغ الفسيح الذي تكون حديثا في الوادي. (٣) وحدثت بعض الانزلاقات في التلال منذ زمن بعيد تاركة أسطحها زلقة قديمة في الصخور. (٤) وتحتوي بعض طبقات الصخور على عروق رقيقة من الصلصال الضعيف. (٥) والحجر الجيري في التلال به عدة كهوف كبيرة متحللة فيه. (٦) وبعد بناء السد شبع الماء الذي ملأ الخزان الصخور في مقدمة أقدام المنحدرات محدثا ارتفاعا في ضغط ماء المسام. وهذه الظروف المعاكسة في موقع السد تضافرت مع غيرها من الأمطار الغزيرة في أشهر أغسطس وسبتمبر وأكتوبر ١٩٦٣؛ فأضافت الأمطار أوزانا هائلة للماء في المنحدرات غير المستقرة. كان من المتوقع أن تحفز الأمطار الانزلاق الأرضي ولكن حجمها كان مفاجأة فتاكة.

ففي مساء يوم ٩ أكتوبر ١٩٦٣ عاد معظم سكان القرى إلى منازلهم أثناء الأمطار الغزيرة؛ وكان الكثيرون منهم يثرثرون عن أحداث مباريات كأس كرة القدم. وفي الساعة ١٠, ٤١ مساءً انهار الجدار الجنوبي لخزان قايونت بشدة وبسرعة محدثا حوالي ٣٠٠٠ قتيل في الدقائق السبع التالية. كانت الكتلة المنزلقة طولها ١,٨ كم (١,١ ميلا) وعرضها ١,٦ كم (١ ميل واحد) وحجمها يتجاوز ٢٤٠ مليون متر مكعب وملا جزءا من الخزان بحطام الصخور لارتفاع ١٥٠ مترا (٥٠٠ قدم) فوق مستوى سطح الماء (الشكل ٨-٢٤). وضرب الانزلاق الأرضي القاع بشدة محدثا زلزالا شعرت به منطقة كبيرة من أوروبا. واستغرقت حركات الكتلة أقل من ٣٠ ثانية من بدايتها حتى نهايتها بسرعة ٣٠ مترا في الثانية (٦٨ ميلا في الساعة). وأزاحت الكتلة المنزلقة حجما هائلا من الهواء، اندفع إلى الخارج بقوة حطمت النوافذ وجردت البيوت من سقوفها.

حدثت معظم الوفيات والدمار من إزاحة ماء الخزان. إذ تسلق جدار من الماء فوق الجانب الشمالى للخزان على ارتفاع ٢٤٠ مترا (٧٨٠ قدما) فوق منسوب الماء. وفاضت أمواج تالية من الخزان على ارتفاع ١٠٠ متر (٣٢٨ قدما) فوق قمة السد. وظهرت الأمواج المتلاطمة من وادى قايونت على شكل حائط من الماء ارتفاعه ٧٠ مترا (٢٣٠ قدما) وصفع فى مواجهته مدينة لونجارون (الشكل ٨-٢٤). وفى ٦ دقائق اجتاحت لونجارون المياه الغاضبة. وعندما مر الماء قتل ٢٠٠٠ نسمة.

وفى الطرف العلوى من الخزان ضربت موجة لأول مرة الحائط الشمالى من وادى قايونت فدمرت المنازل؛ ثم ارتدت إلى الجنوب فضربت شبه جزيرة بينيدا حيث ارتدت ثانية. وفى هذا الوقت، ضربت الموجة الجانب الشمالى بطول الخزان كله وتجنببت قرية إيرتو المخاطر قبل أن تضرب بكامل قوتها سان مارتينو (الشكل ٨-٢٤).

وما الذى قتل ٢٠٠٠ نسمة؟ كتلة هائلة من الصخر تحركت أسفل سطح منحدر على شكل انزلاق تحويلى ودفعت حائط الماء الفتاك خارج الخزان. ولا يزال السد قائما (وهو نجاح فى هندسة البناء)، ولكن الانزلاق الأرضى أفرغ الخزان من الماء (وهو فشل جيولوجى). واعتبر هذا الحادث أسوء كارثة لسد فى العالم.

جروس فينتر فى يومينج فى ١٩٢٥ : يجرى نهر جروس فينتر جنوبى المنتزه الوطنى فى يلوستون كرافد من روافد نهر سنيك. ويعتبر الوادى كله تقريبا متحفا للانزلاقات الأرضية لأن طبقات صخوره الرسوبية تميل من ١٥ حتى ٢١ درجة منحدره نحو الوادى (الشكل ٨-٢٥). ومعظم الصخور المائلة أساساتها من الحجر الرملى والحجر الجبرى. وبعض طبقات الصلصال. وجميع الصخور أضعفتها التجوية والتمزق والتحلل خلال زمن طويل من التعرض للأحوال الجوية.

وفى ١٩٢٠ بدأ جزء من حائط الوادى يهبط إلى أسفل وإلى الخارج، كما هو واضح من الشروخ الواقعة فوق أعلى أنف جبل شيب الشمالى. وكشف أحد المواطنين المقيم عند قاعدة المنحدر عن الحادث الذى بدأ يتكشف رويدا رويدا، فباع مزرعته قبل خمس سنوات من الانزلاق الذى دقنها. وبعد سنوات من الضعف وبعد ظهر يوم ٢٣ يوليو ١٩٢٥ انزلقت فجأة كتلة قدرها ٢,٨ مليون متر مكعب فى الوادى وسقطت من

ارتفاع ٦٤٠ مترا (٢١٠٠ قدم) وهي تحمل غابة من الصنوبر الكثيف لم تصب بأذى. طار حطام الانزلاق أكثر من ١٠٠ متر (٢٥٠ قدما) فوق الحائط الشمالى للوادي ثم ارتد جزء من الانزلاق مكونا سدا عبر النهر ارتفاعه ٧٥ مترا (٢٥٠ قدما) (الشكل ٨-٢٦). وفى الوقت ذاته كان النهر فى حالة فيضان. وقفلت الكتلة المنزلقة الكبيرة مجرى النهر تماما، فبدأت تمتلئ بالماء بحيرة حديثة التكوين. وفى ثلاثة أسابيع بلغ عمق البحيرة ٦٠ مترا (٢٠٠ قدم)، واتساعها ٨,٠ كم (١/٢ ميل) وطولها ٥ كم (٣ أميال)، ومسطحها ١١٠٠٠ إيكرا.

كان السد مصنوعا من كسر الحجر الرملى والحجر الجيرى مكونا حاجزا مساميا بدأ يتسرب الماء من مسامه على الفور. وفى أواخر الصيف كانت كمية الماء المتسرب من السد أكبر من كمية الماء الذي يصبه النهر فى البحيرة. وبحلول ربيع ١٩٢٧ ظل السد والبحيرة مستقرين لمدة سنتين تقريبا وظن كثير من الناس ومنهم المهندسون أن الموقف مستقر وآمن. ولكن شتاء ١٩٢٦-١٩٢٧ أتى بثلوج كثيفة على جبال جروس فينتر. وفى مايو ١٩٢٧ أدى سقوط الأمطار الغزيرة إلى التسارع فى ذوبان الثلوج محدثا ارتفاعا سريعا فى منسوب الماء فى البحيرة. وفى يوم ١٨ مايو فاض ماء البحيرة من فوق السد. ولاحظ سكان مدينة كيلى (٦٥ نسمة) الواقعة خلف السد ارتفاعا فى ماء النهر فبدأوا فى الجلاء عن مدينتهم. وغادر معظمهم فى أمان ولكن سبعة أشخاص كانوا يحملون ما خف حمله وغلا ثمنه غرقوا عندما دهمهم جدار يرتفع ٥ أمتار (١٦ قدما) من الماء تدفق فجرفهم ودمر مدينتهم. وشق ماء البحيرة الفياض قناة فى السد اتساعها حوالى ٩٠ مترا (٢٠ قدم) وعمقها ٣٠ مترا (١٠٠ قدم). وهذه القناة سمحت بالتدفق السريع للماء بحوالى ٤٣٠٠٠ إيكرا قدم؛ فانخفض منسوب البحيرة حوالى ١٥ مترا (٥٠ قدما).

التدفقات

والتدفقات حركات للكتل تسلك سلوك السوائل. وتتراوح المواد المتدفقة من الجلاميد الضخمة إلى الرمل والصلصال والجليد والثلوج أو خليط من ذلك كله. ويتنوع

المحتوى من الماء بين الجاف والرطب الموحل. وتتفاوت سرعتها من التحرك بسرعة لا تكاد تلاحظ إلى التحرك بسرعة ١٧٥ ميلا في الساعة والسرعات الحسابية التي تتجاوز ٢٠٠ ميل في الساعة. وفي الكتلة المتحركة تسود حركات القصور الذاتي وتغيب الأسطح الزلقة أو تكون لفترات قصيرة.

وهناك تدرج تام من انزلاقات الحطام السابق شرحها، التي تتحرك فوق أسطح زلقة إلى تدفقات الحطام التي ليس لها سطح أساسي زلق. وقد استخدمت عدة مسميات لوصف التدفقات، مثل تدفقات الراسب الطفلي (*) (الطيس- اللويس) وتدفقات التربة وتدفقات الطين وتدفقات الحطام وجلاميد الحطام. وتوضح لنا الأمثلة النماذج المختلفة للتدفقات.

تدفقات طفلية في مقاطعة جانسو في الصين

كانت رواسب الغرين الحرة (الرواسب الطفلية) عنصرا مهما في كارثة ١٩٢٠ في مقاطعة جانسو بالصين. حفز الحادث زلزال كبير. ففي ليلة ١٦ ديسمبر ١٩٢٠ هبت ريح صرصر باردة وعاصفة ترابية. وفي الساعة ٩,٣٠ مساءً تقريباً زلزلت الأرض لمدة ٣٠ ثانية فخركت الأحداث التي يطلق عليها الصينيون **شان تسولياو** أى «سارت الجبال». وفي منطقة مساحتها ١٦٠ × ٢٧٥ كم (١٠٠ × ١٧٠ ميلاً) تدفقت تلال من الرواسب الطفلية الجافة والضعيفة الاستقرار. وتحركت جانبيا تلال بأسرها مئات الأمتار، بينما التلال الأضعف تفرقت وتمزقت ورشت في الهواء سوائل غرينية تدفقت في الأودية فدفنت القرى وقتلت ٢٠٠,٠٠٠ نسمة. وهذه التدفقات من الراسب الطفلي الفتاكة تحركت بسرعة في هيئة تدفقات جافة من حبيبات الغرين الدقيقة. فكتل الرواسب الطفلية تتدفق جافة ولكنها تتحرك مثل الماء في دوامات مائية ودوامات هوائية.

(*) (١) طيس (لويس) loess رواسب تتكون من حبيبات دقيقة جدا من الغرين والمرل ولونها أصفر وهي ليست طباقية وتكون تربة خصبة. (معجم الجيولوجيا- المترجم)

(٢) اللويس : رسوبيات تكونت من طمي جلبته الرياح. (ما هي الجيولوجيا؟- المترجم)

تقول إحدى الروايات التي وصفت الحادث في «وادي الموت» أن سبعة تدفقات كبيرة للرواسب الطفلية دفنت جميع الكائنات الحية تقريبا. ولكن ثلاثة من الناجين كانوا واقفين على أحد جوانب التل عبروا الوادي على كتلة خشبية طفت فوق سطح التدفق الطفلي ودهمتهم دوامة عملاقة حيث تقابلت ثلاثة تدفقات طفلية فأدارتهم إلى منحدر تل آخر. وكان بستانهم ومنزلهم وأرضهم لا تزال سليمة فبدؤا يفلحون أرضهم ببساطة. لقد شاعت لهم الأقدار أن يمروا بالحادث فوق أرض صلبة، بينما الآلاف من جيرانهم دفنوا أحياء.

تدفق ترابي في بورتوجيز بيند في كاليفورنيا

ومن أمثلة التدفقات الترابية القديمة الفادحة الخسائر التي لا تزال تتحرك ما حدث في منطقة بورتوجيز بيند في لوس أنجلوس. كانت بعض طبقات الصخور التحتية غنية برماد البراكين الذي تحول إلى صلصال بركاني(*) (بنتونايت) سريع التأثير بالتشبع بالماء والتمدد الذي ينتج عنه فقد القوة.

وفي منطقة بورتوجيز بيند انحنت الصخور في منعطف(**) مقعر واسع حيث تميل طبقات الصخور في اتجاه البحر (الشكل ٨-٢٧). وتحت أمواج المحيط قدم المنحدر، وتزل الدعامة السائدة مما يساعد المنحدر على التحرك ببطء إلى أسفل. وهذا الموقع عريق في التدفقات الترابية كما يتضح ذلك من التضاريس الطبوغرافية من الصخور المتدحرجة والروابي التي تمتد حوالي ٣٠٠ متر (١٠٠٠ قدم) في البحر، وتشبه بساطا مجعدا ذا منخفضات ومنحدرات شديدة مقوسة «وبحيرات» وكتل قائمة ومنحدرة ومواد شديدة التفتت ومواد صلصالية لدنة ومنسحقة وكلها توضح تكوينات

(*) بنتونيت bentonite نوع من الطين يتكون من تحلل الرماد البركاني وخاصة من معدني المونتموريللونيت montmorillonite والبيديليليت beidellite وتعالج به منتجات البترول لتحسين لونها. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

(**) انعطاف (حذب) warp (١) (ب) طى صغير في الطبقات الرسوبية. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

التدفقات (الشكل ٨-٢٨). وقد استخدمت المنطقة فى الزراعة الآلية - وهو استثمار طيب للأرض غير المستقرة. فليس هناك ضرر بالغ من التشوه البطئ للحقل المحروث.

وفى الخمسينيات من القرن العشرين بنى فى الأرض المزروعة ١٦٠ منزلا فاخرا فوق المنحدر النشيط. ولم يكن لهذه المنازل صرف صحى؛ بل كانت الفضلات السائلة تصب فى خزانات عفنة تحت الأرض. وفى عام ١٩٥٦ بدأ ٢٥٪ من المنطقة (٤٠٠ إيكرا) تتحرك ثانية. إذ تحركت فى الشتاء أسرع (حتى بوصة فى اليوم) وفى الصيف أبطأ. وتناسبت الحركة طرديا مع سقوط الأمطار بزمان يقدر بشهر أو شهرين حتى يتسرب ماء المطر تحت السطح لتمتصه المعادن الصلصالية، وفى ثلاث سنوات تحركت أجزاء من المنطقة أكثر من ٢٠ مترا (٧٠ قدما) فى اتجاه البحر (الشكل ٨-٢٩).

وحزن ملاك المنازل؛ حيث أن بيوتهم الجميلة المطلة على المحيط تصدعت. وأدت هذه الخسائر الاقتصادية إلى رفع دعوى قضائية. فعلى من يقع اللوم؟ (١) انحدار طبقات الصخور فى اتجاه البحر؛ أم (٢) الرواسب الصلصالية البركانية التى امتصت كثيرا من الماء فضعفت؛ أم (٣) أمواج المحيط التى نحتت قدم المنحدر فخلطت مياه المحيط بالطين والمواد المنحوتة من كتلة المقاومة؛ أم (٤) وجود أسطح زلقة نشيطة وقديمة ذات منخفضات تتراكم فيها المياه؟ فكل من هذه الأسباب كان كافيا للإحجام عن البناء فى الموقع الأول، ولكن ملاك المنازل ظلوا يبحثون عن شخص ثرى قادر على رفع الدعوى، حتى ظهر لهم أحد الأشخاص الأثرياء فتحمل المسؤولية ودفع كل المستحقات؛ وذلك هو محافظ لوس أنجلوس. فما هى الجريمة؟ لقد أضافت المحافظة بعض النفایات إلى رأس المنحدر عند بناء كرينشو بوليفارد (انظر الجانب العلوى الأيمن للشكل ٨-٢٨)؛ فكانت هذه النفایات عنصرا صغيرا فى تردى الموقف، ولكن المحافظة ثرية ولهذا تحملت المسؤولية ودفعت تعويضات لأصحاب المنازل.

تدفقات فتاتية بعيدة المدى

تشتمل الكثير من حركات الكتل على مزيج من السقوط والانزلاق والتدفقات فى أوقات مختلفة وأماكن متنوعة على طول طريق سيرها. ومن الأمثلة الشائعة، الهبوط

الذى يتحول إلى تدفقات ترابية، وانزلاقات الحطام التى تصبح سقوطا للصخور، والهبوط الذى ينتهى على شكل انقلابات. ولكن هناك حركة مركبة أخرى أكثر إثارة منها جميعا. تلك هى سقوط الصخور الكبيرة التى تتحول إلى تدفقات للحطام عالية السيولة سريعة الحركة وتسير مسافات بعيدة فتقتل بأعداد هائلة.

وتميل سقطات الصخور والجلاميد الصغيرة الحجم إلى التدفق أفقيا لمسافات تقل عن ضعف مسافة سقوطها الرأسية؛ وهذه المسافات القصيرة ترجع إلى عوامل الإبطاء من الاحتكاك الداخلى والخارجى. وعلى أية حال، فإن سقوط الصخور الكبيرة جدا بأحجام تزيد عن مليون متر مكعب عادة ما يسير مسافات بعيدة؛ فبعضها يسير حتى مسافة تصل إلى ٢٥ ضعفا لمسافة السقوط الرأسية. وهذه التدفقات الطويلة المدى، التى تسمى حركات سريعة وبعيدة المدى (sturzsstroms وتعنى sturz بالألمانية السقوط وstrom الجريان)، تشتمل على معدلات قليلة من الاحتكاك الداخلى.

وشهدت الحركات السريعة البعيدة المدى تتحرك بمعدلات تصل إلى ٢٨٠ كم/ساعة (١٧٥ ميلا فى الساعة) وتجرى فوق التلال الكبيرة وسلاسل الجبال التى تقع فى طريق سيرها.

حادث بلاكهوك فى كاليفورنيا : ومن الأمثلة الجميلة لتدفقات الحطام القديمة ذات المدى البعيد الحركات السريعة البعيدة المدى فى بلاكهوك (الشكل ٨-٣٠). سقطت هذه الكتلة الصخرية الهائلة من جبال سان بيرناردينو منذ ١٧٠٠٠ سنة مضت وتدفقت فوق صحراء موجافى شرقى لوس أنجيلوس. وحركة بلاكهوك السريعة البعيدة المدى يبلغ حجمها ٣٠٠ مليون متر مكعب وسقطت عموديا وبانحدار شديد من جبل بلاكهوك من ارتفاع ١,٢ كم (٠,٧٥ ميلا) ثم تدفقت ٩ كم (٥,٦ أميال) لتشكل لسانا مفصصا من حطام الصخور سمكه من ١٠ حتى ٣٠ مترا وعرضه ٢ كم وطوله ٧ كم. وسار تدفق بلاكهوك مسافة تزيد ٧,٥ ضعفا عن مسافة سقوطه وتقدر سرعته بحوالى ١٢٠ كم/ساعة (٧٥ ميلا فى الساعة). حدث هذا الحادث فى الزمن التاريخى.

حادث إيلم فى سويسرا فى ١٨٨١ : عند إدخال التعليم الإجبارى فى أوروبا فى القرن التاسع عشر زاد الطلب على ألواح الإردواز للكتابة عليها فى حجرات الدراسة.

وعملا على إشباع هذه الحاجة تحول بعض الفلاحين السويسريين القريبين من إيلم إلى عمال مناجم هواة، يستخرجون الإردواز من قاعدة أحد الجبال القريبة. وبحلول عام ١٨٧٦ تكون شق مقوس فوق محجرهم بحوالى ٣٦٠ مترا (١٨٠, ١ قدما) وبلغ اتساعه ١, ٥ مترا. وبحلول شهر سبتمبر ١٨٨١ صار المحجر ممرا جبليا على شكل حرف ٧ طوله ١٨٠ مترا (٦٠٠ قدم) وعمقه فى المنحدر ٦٠ مترا (٢٠٠ قدم). وفى هذا الوقت اتسع الشق فوق المنحدر إلى ٣٠ مترا (١٠٠ قدم) وتكرر سقوط الصخور منه مصحوبا بضوضاء إنذارية مصدرها الكتلة الصخرية الكبيرة المعلقة. وأدت هذه العلامات إلى وقف عمال المحجر العمل فيه. وتوقع المواطنون سقوط الصخر الكبير؛ ولكنهم لم يفتنوا إلى أنه سوف يتدفق فوق منحدر شديد قبل أن يهبط إلى واديهما الجبلى ليدفن تحته ١١٥ منهم. ولكن ذلك حدث بالفعل.

وفى يوم ١١ سبتمبر ١٨٨١ ظهر حادث إيلم للعيان كمسرحية ذات ثلاثة فصول: السقوط والقفز ثم الاندفاع فوق المنحدر وعلى قاع الوادى المسطح تقريبا (الشكل ٨-٣١). والفصل الأول هو **السقوط** الذى وصفه السيد وايس المدرس بمدرسة قرية إيلم وكان واقفا يشاهده من نافذة منزله:

عندما بدأ الصخر فى السقوط بدت الغابة التي تقع فوق الكتلة الساقطة تتحرك وكأنها قطيع من الأغنام يهرول؛ والتفت أشجار الصنوبر كالدوامة فى ارتباك. ثم هبطت الكتلة بأكملها فجأة....
والواضح أن كتلة الصخر التى كانت صلبة بدأت تتفكك أثناء السقوط الحر.

وفى الفصل الثانى. **القفز**، صدمت الكتلة الساقطة القاع المسطح لمحجر الإردواز وقد تفككت تماما ثم ارتدت بقفزة كبيرة إلى الأمام، ووصفها كذلك المدرس وايس كالآتى:

ثم رأيت كتلة الصخر تقفز بعيدا عن سلسلة الصخور. وانضغط الجزء السفلى من الكتلة بقوة ضغط الجزء العلوى الهابط بسرعة فتفكك وانفجر فى الهواء.... وانطلقت كتلة الحطام بسرعة

لا يصدقها عقل إلى الشمال نحو قرية أنتيرتال وفوق الجدول،
لأننى شاهدت الغابة فى الماء على طول الجدول تحت تدفق
الحطام الطائر.

وتم تحديد السطح السفلى للكتلة القافزة بدقة؛ إذ رأى شهود العيان الأشجار
والمنازل وقطعان الماشية والناس الهاربين تحت الحطام الطائر. ولم يحدد السطح
العلوى بهذه الدقة؛ إذ كان سحابة من الصخور والأتربة. وعندما رأى أهالى أنتيرتال
الكتلة تقفز نحوهم فروا إلى أعلى التل لإنقاذ أرواحهم؛ وتبين أن هذا هو التصرف
الخاطئ، حيث ضرب جزء من الحطام المتطاير منحدر تلهم فتسيل وتدفق فوق المنحدر
لمسافة ١٠٠ متر ولحق بهم فدفنهم. وفى الوقت ذاته تحركت بعض الكلاب والأبقار إلى
الأجناب بغريزتها فتجنبت تدفق الحطام.

وفى الفصل الثالث، الاندفاع، أصبحت كتلة الصخور المتفككة الآن متصلة
بالأرض وتدفقت سريعا فى قاع الوادى. وصف حركتها كاسباب زينتار الذى نجا
بأعجوبة من التدفق، إذ قال:

لم تقفز كتلة الحطام ولم تتدحرج ولم تطر فى الهواء ولكنها
اندفعت بسرعة على طول القاع مثل فيض سيلى. وكان التدفق
أعلى قليلا فى المقدمة عن المؤخرة. وكانت رأسه مستديرة
ومنبعجة، وتحركت الكتلة حركة متموجة. وتدحرج جميع الحطام
فى مجرى النهر بارتباك كما لو كان يغلى فذكرتنى الكتلة
بأسرها بقدر البلية وهو يغلى. وكان الدخان والقعقة مخيفين.
فجريت بأقصى سرعة فوق الكوبرى واستدرت حول ركن منزل
رودولف راينز. ثم عدت وأسندت نفسى تماما إلى المنزل. وبمجرد
مرورى من الركن مرت أمامى الكتلة بأكملها وكانت تبعد عنى
مترا واحدا. وكان تدفق الحطام لا يقل ارتفاعه عن ٤ أمتار.
وأنقذتنى خطوة واحدة. ولاحظت فى قفرتى الأخيرة أن أحجارا
صغيرة كانت تدور فى دوامة حول ساقى وكأنها أوراق أشجار.

تذروها الرياح. وسحق المنزل وتحرك ثم انفلق. وهربت على يديّ
وركبتنيّ في الحديقة حتى بلغت الطريق. وحينئذ كنت أَمنا.
ولم أشعر بأي ألم، إذ لم تصبني أية أحجار. ولم أشعر بأي ضغط
مميز في الهواء.

ورغم أن الكتلة المتحركة في إيلم بدت لي كأنها «فيضان سيلى» و«قَدْرٌ يغلى»،
فلم تكن كتلة منداة بالماء بل كانت جافة وكان سائلها الداخلى من الرماد والهواء.
وأبدى الزوار الذين شاهدوا منظر كتلة الحطام المترسب أن منظرها يشبه «تدفق الحمم
الطينية». وهذه هي الحقائق: كتلة من الصخور المحطمة يبلغ حجمها ١٠ مليون متر
مكعب سقطت من ارتفاع ٦٠٠ متر (١,٩٧٠ قدما) ثم تدفقت لمسافة ٢٢٣٠ مترا
(١,٤ ميلا)، كتلة جافة تحركت بسرعة ١٨٠ كم/ساعة (١١٠ ميلا في الساعة).

جبل تيرتيل في ألبيرتا في كندا في ١٩٠٣ : تحتل مدينة استخراج الفحم من
المناجم فرائك في ولاية ألبيرتا في كندا موقعا جميلا في وادى نهر أولدمان وجبال
روكى في كندا. تغير موقعها في التاريخ في يوم ٢٩ أبريل ١٩٠٣ عندما انزعج سكانها
في الساعة ٤,١٠ صباحا إثر ضوضاء قادمة من جبل تيرتيل عندما انزلت كتلة وزنها
٩٠ مليون طن من طبقات من الحجر الجيري المائلة على سطحها الأساسى، من ارتفاع
١ كم (٣٠٠٠ قدم) في وادى النهر، فتمزقت ثم تدفقت ٣ كم (٢ ميل) عبر حائط
الوادى على الجانب المقابل (الشكل ٨-٣٢). استغرق الحادث ١٠٠ ثانية فقط، ولكنها
انسحقت ودفنت الطرف الجنوبى للمدينة فقتلت ٧٠ شخصا. ويقول شهود العيان أن
سائق القطار العائد إلى منجم الفحم سمع صوت تحطم الصخرة عند ارتطامها بجبل
تيرتيل، فانطلق إلى الأمام بأقصى سرعة إلى بر الأمان عندما شاهد عمال المناجم عند
رصيف التحميل يهرولون طلبا للنجاة بأرواحهم ولكن تدفق الصخور اكتسحهم فقتلهم.
والموقع الآن منظم ليجذب السياح ومزود بمركز استعلامات عن انزلاق فرائك وعرض
سمعي وبصري وساحة لقوافل المتنزهين سيرا على الأقدام.

حركة التدفقات الصخرية العالية السيولة (الحركات السريعة البعيدة المدى)

كيف يتحرك حطام الكتل الكبيرة الحجم هذه المسافة وبهذه السرعة ويبدو كما لو كان

سائلا؟ عرضت للإجابة عدة افتراضات. (١) يعتمد بعضها على الماء لإيجاد مادة زلقة وتدفقات أشبه بالسوائل، ولكن البعض الآخر لاحظ أن التدفقات لكتل من الحطام الجاف مثل حادث إيلم. (٢) ويستوحى افتراض آخر فكرة توليد البخار لتميع أو تسيل الكتلة المتحركة. (٣) أو يستوحى فكرة الانصهار الاحتكاكى للمادة داخل الكتلة المتحركة؛ وكلا الفرضيتين فشلتا بسبب احتواء الرواسب ذات المدى البعيد على كتل من الجليد أو جلاميد تنمو عليها نباتات تشير إلى عدم تولد كميات كبيرة من الحرارة الداخلية وليس الاحتكاك الداخلى دائما على مستوى عال جدا. (٤) وترى إحدى النظريات الشائعة أن الكتلة الساقطة تحتبس تحتها حجما كبيرا من الهواء ثم تتركب مستندة جزئيا على بساط من الهواء المحبوس يمكنها من الانطلاق إلى مسافة بعيدة وبسرعة كبيرة. فمثلا، بعد الانطلاق المبكر للحركة السريعة فى المدى البعيد فى إيلم والقفزة المحمولة جوا تم وصفها على أنها كانت على اتصال بالأرض. والحقيقة أنها كشفت خط أنابيب كان مدفونا على عمق متر واحد من سطح الأرض. ومن المشكلات الإضافية لنظرية التدفق بالوسادة الهوائية أن الرواسب فى مثل هذه التدفقات على سطحى القمر والمريخ تحدث دون أن يكون حولها غلاف جوى أو يكون ضئيلا جدا.

ولهذا يبدو أن الماء أو الحرارة أو الوسادة الهوائية المحبوسة ليس لها دور ضرورى فى تدفق الحطام للمدى البعيد. إذن فكيف يحدث ذلك لهذه الكتل الكبيرة؟ هناك حقيقة جديرة بالملاحظة تساعدنا على تدبيج نظرية أخرى. فبعد سقوط كتلة إيلم تفككت وقفزت وتدفقت ٢٣, ٢ كم واستقر الحطام وكان التطابق الأسمى فى صخر الأساس فى جانب الجبل لا يزال مميزا. وحتى لو تدفق الحطام طبقا لرواية شهود العيان فإن قطعا كبيرة من الحطام ظلت فى موضعها النسبى ذاته. ويقول عالم الجيولوجيا الألمانى ألبرت هايم الذى قام بدراسة الموقع:

عندما تسقط كتلة كبيرة تحطمت إلى آلاف القطع فى نفس الوقت وفى نفس خط السير فإن الحطام يتدفق وكأنه فى مجرى واحد. فأعلى كتلة فى آخر المجرى سوف تحاول أن تأتى إلى المقدمة. فتسرع ولكنها ترتطم فى الكتلة التى تعترض طريقها وتتقدمها قليلا. فالطاقة الحركية التى تحتويها الكتلة الأولى أكثر من الثانية

تنتقل بالارتطام. وبهذه الطريقة فإن الكتلة العليا لا يمكن أن تلحق بالكتلة السفلى ولهذا تظل باقية خلفها. وتتكرر هذه العملية ألف مرة محافظة تقريبا على النظام الأساسى فى مجرى الحطام. وهذا لا يعنى أن طاقة الصخور الساقطة من ارتفاعات عالية أصلا مفقودة؛ بل تنتقل الطاقة بالارتطام. فالكتلة بأكملها مملوءة بالطاقة الحركية، التى يسهم فيها جزئيا كل حجر مفرد. فلا يوجد حجر حر فى العمل بطريقة أخرى.

فمن ذا الذى يتوقع أن تحافظ قطع الركام فى مجرى حطام يتحرك بسرعة على أوضاعها النسبية بعد جاراتها؟ وكيف نفسر هذه العلاقة؟ هناك نظرية مثيرة تتضمن الطاقة الصوتية داخل الكتلة المتحركة اقترحها عالم الطبيعة الأمريكية جيبى ميلوش. والواضح أن حجما كبيرا من الحطام الساقط يحدث طاقة اهتزازية أو صوتية داخل الكتلة. فتدافع وارتطام الشذرات إلى الأمام وإلى الخلف يحدث طاقة صوتية تنتشر على هيئة موجات داخلية. وقد تعمل هذه الموجات الصوتية المحبوسة على تسهيل حطام الصخر فتسمح باستمرار معدل سرعة السقوط السريع حيث إن معدل سرعة التدفق السريع فى أية عملية يسمى التسييل الصوتى (الإماعة الصوتية) (*).

حوادث نيفادوس هواسكاران فى بيرو : نيفادوس هواسكاران هى أعلى قمة فى جبال أنديز فى بيرو. فالجهة الغربية للقمة الشمالية تتكون من صخور الجرانيت تقطعها نقط اتصال عمودية تقريبا موازية لتلك الجهة. وفى الساعة ١٣, ٦ من مساء يوم ١٠ يناير ١٩٦٢ وبدون حافز يذكر لهذا الحادث سقطت كتلة ضخمة من الصخر والثلج المجلدى بادئة بتدفق للحطام. وتدفق الحطام فى أودية النهر كالزلاجات ترتفع أكثر على جوانب منعطفات الوادى وتنخفض فى المنحنيات الداخلية. وتدفق بعض الحطام خارج الوادى عند المنعطفات ولكن معظمه ظل باقيا بين حائطى الوادى واندفع إلى الأمام على شكل كتلة ارتفاعها من ١٠ حتى ١٥ مترا (من ٣٠ حتى ٥٠ قدما) وانتشرت على شكل

(*) إماعة fluidisation انسياب الغازات وتغلغلها بين جسيمات طبقة ما إلى الدرجة التى تؤدى إلى انتفاخ الطبقة وإلى إمكان تحرك جسيماتها فى حركة حرة كأنها سائل. (معجم الجيولوجيا - المترجم)

لسان يغطى ٣,٥ كم^٢ شاملا جزءا من مدينة رانراهيركا (تعنى تلاً من عدة أحجار)؛ ومات فيه ٤,٠٠٠ نسمة. وترك الانزلاق أثرا على قمة نيفادوس هواسكاران بما فيها الجرف المعلق بارتفاع كيلو متر واحد. ويقول أحد التقارير عن هذه المأساة:

ارتبط الناس بهذا الأثر الضخم الذى يمتد عبر الأرض ويؤثر على حياتهم.... ولكنهم يقولون إن هواسكاران وغد لا يزال فى جعبته الكثير الذى يرويه.

وفى يوم ٢١ مايو ١٩٧٠ حدث زلزال فى نطاق الانضواء بقوة ٧,٧ تحت منطقة تبعد ١٣٥ كم (٨٤ ميلا) فى المحيط الهادى وتقع بؤرته على عمق ٥٤ كم (٣٣ ميلا). استمرت الهزة ٤٥ ثانية ولكن قبل انتهاء هذه الفترة سقط جزء هائل من منحدر الواجهة الغربية ذاتها من القمة الشمالية لنيفادوس هواسكاران محدثة صوتا كانفجار الديناميت أو الطنين الصوتى، وحجبت الجبل عن الرؤية سحابة رماد داكنة. وسقط جانب الجبل بين الارتفاعين ٥٥٠٠ و ٦٤٠٠ متر (١٨٠٠٠ و ٢١٠٠٠ قدم) بما فيها مثلجة سمكها ٣٠ مترا (١٠٠ قدم). كانت الكتلة ١٠٠ مليون متر مربع من صخور الجرانيت وكتل الجليد ورواسب الثلجة والماء. وتحركت بسرعة تتراوح بين ٢٨٠ حتى ٣٣٥ كم/ساعة (١٧٥ حتى ٢١٠ ميلا فى الساعة)، فدمرت منطقة مساحتها ٢٢,٥ كم^٢ وقتلت ١٨,٠٠٠ نسمة (الشكل ٨-٣٣).

بدأ الحادث على هيئة سقوط تحول إلى جلمود من الحطام وقسم محمول جوا ثم تحرك إلى أسفل ريو سانتا على شكل تدفق لحطام سار أكثر من ٥٠ كم (٣٠ ميلا). وكان تسلسل الأحداث كما يلى:

١- سقوط عمودى من ارتفاع ٤٠٠ حتى ٩٠٠ متر (١٣٠٠ حتى ٣٠٠٠ قدم (الشكل ٨-٣٤)).

٢- استقرت الكتلة الساقطة فوق الثلجة وانزلقت فوق سطحها جارفة معها الثلج.

٣- انطلق جلمود الحطام فوق جانب تل الرواسب الجليدية، قاذفا كثيرا من الحطام فى الهواء.

٤- أما بالنسبة للأربعة كيلومترات (٢,٥ ميلا) أسفل المنحدر فقد سقطت من السماء جلاميد وزن كل منها عدة أطنان فسحقت المنازل والبشر والحيوانات الأخرى. وهذا السقوط المميت للجلاميد الضخمة ترك علامات فى الأرض وحفراً مثل ميدان حرب قذفته القنابل بكثافة.

٥- ثم عادت الكتلة فاتححت على شكل تدفق حتى وصلت قمة تل سيرو دى إيرا (وتعنى سيرو بالأسبانية التل) الذى يبلغ ارتفاعه ٢٣٠ مترا (٧٥٠ قدما)، والذى حمى مدينة يونجى فى حادث ١٩٦٢. ولكن الحظ ليس حليفا فى هذه المرة: إذ تجاوز جزء من الحطام قمة سيرو ودفن يونجى ومعها ١٨٠٠٠ نسمة تحت حطام سمكه ٢٠ مترا (١٠٠ قدم). وكان التوقيت غير ملائم حيث وقع فى مساء يوم أحد وكان الموقع مكتظا بالزائرين من الإقليم المجاور. وقد وصف الناجون من الموت هذا المشهد من أعلى نقطة فى يونجى وأكثر الأماكن أمنا فى المدينة وهى المقابر.

٦- وفى الوقت ذاته استمرت الكتلة الرئيسية فى سباقها نحو ريو سانتا وقد سبقتها ريح شديدة دفعتها أمامها. وزحف القسم الرئيسى من الحطام عبر ريو سانتا وجرى ٨٣ مترا (٢٧٥ قدما) فوق المنحدر البعيد، فقتل ٦٠ شخصا من مدينة ماتاكوتو قبل أن ترتد بعد سقوطها مثل موجة المحيط التى ترتد عند الشاطئ.

فماذا يحمل المستقبل فى جعبته لهذا الموقع؟ فالمجلدات فوق مواقع أحداث ١٩٦٢ و ١٩٧٠ بها شقوق كبيرة، بما يوحى بأن جانب الجبل الواقع تحتها لا يزال مشققا وغير مستقر. والشذوذ فى القاعدة وارد؛ لإعادة الإسكان فى منطقة المنحدر سوف تتعرض لحوادث قتل أخرى بفعل تدفقات الحطام.

جلاميد الجليد

يؤدى سقوط ندف الثلج بغزارة على المنحدرات الحادة إلى زيادة قوة سحب الجاذبية فتتهار على شكل جلاميد جليدية (الشكل ٨-٣٥). ويمكن فهمها باستخدام نفس مبادئ حركة الكتل الترايبية والصخرية؛ إذ تزحف الجلاميد الجليدية وتسقط

وتنزل وتتدفق مثل حركات الكتل الترابية تماما. والواقع أن سقوط ندف الثلج وتراكم ما تحمله الرياح عالياً فوق المنحدرات يزيد من حمل رأس المنزلق فيهيئ الساحة للانهيال. وتختلف أحجام الجلاميد من الصغيرة إلى الكبيرة جداً. وتتحرك بمعدلات تتراوح بين مجرد التقدم البطيء إلى السرعات التي تقاس بحوالى ٣٧٠ كم/ساعة (٢٣٠ ميلاً/ساعة) فى اليابان. وتختلف مسافة سيرها من بضعة أمتار إلى عدة كيلومترات.

انطلق جلمود حجمه حوالى ٧٦٥٠٠٠ متر مكعب إلى أسفل منحدرات سانفورد فى ألاسكا فى يوم ١٢ أبريل ١٩٨١؛ وسقط من ارتفاع يزيد عن ٣ كم (٢ ميل) وتدفق مسافة ١٣ كم (٨ أميال)، بما فيها الجريان إلى أعلى فوق سلسلة جبال ارتفاعها ٩٠٠ متر (٣٠٠٠ قدم).

وتتنوع أساليب الجلاميد. فالجليد الحر المسحوق قليل التماسك. وهذه المادة الضعيفة ربما كان ٩٥٪ من حجمها فراغات مسامية. فهى تسقط نمطياً عند نقطة المصدر، ثم تحفز الكثير من الجليد على الحركة أثناء انحدارها أسفل التل. فالجلاميد تبدأ حيث يشتد انحدار المنحدرات (عادة من ٣٠ حتى ٤٥ درجة)، ثم تتحرك إلى أسفل المنحدرات ذات ٢٠ حتى ٣٠ درجة، تقودها التضاريس، ثم تتوقف فى النهاية فى منطقة الاستقرار (منحدرات تقل عادة عن ٢٠ درجة).

أما الجلاميد الأكبر فتشمل عادة تحرر لوح من الجليد المتماسك من قاعدته الضعيفة الوثاق. فالإنهيارات تشبه الانزلاقات التحويلية حيث تتحرر الكتلة العلوية وتنزل إلى أسفل وإلى الخارج فوق طبقة تحتها. وتتحول الانزلاقات نمطياً إلى تدفقات أثناء حركتها إلى أسفل المنحدر. والعنصر المهم فى فهم جلاميد الألواح هو إدراك أن كتلة الجليد فوق الجبل تتكون من عدة طبقات متنوعة من الجليد تكونت فى عدة أوقات. فكل طبقة من طبقات الجليد لها خصائصها وسمكها وقوتها وصلادتها وكثافتها. وبين أكوام الطبقات الجليدية توجد قشرة من الجليد المنصهر تكونت أثناء تعرض السطح فيما بين زخات الندف الجليدية. ونتيجة لذلك توجد تراكيمات غير متجانسة لطبقات مميزة ومنفصلة تحتوى على العديد من الأسطح القابلة للانهيال فى داخلها.

وفى عالم اليوم يشعر بالأضرار الكبرى للجلاميد الناس الذين يمارسون التزحلق على الجليد وتسلق القمم الجليدية والسير بالسيارات فوق الجليد والسير على الأقدام فوقه. ومتوسط الوفيات السنوية فى بعض الدول كالاتى: ٣٥ فى النمسا، و٣٠ فى فرنسا، و٣٠ فى اليابان، و٢٦ فى سويسرا، و٢٥ فى إيطاليا، و١٤ فى الولايات المتحدة، و٦ فى كندا. والجلمود النمطى يبلغ سمكه من ٠,٦ حتى ٠,٩ مترا (من ٢ حتى ٣ أقدام) وارتفاع منحدر رأسه من ٢٠ حتى ٦٠ مترا (من ١٠٠ حتى ٢٠٠ قدم) ويسقط من ارتفاع ٩٠ حتى ١٥٠ مترا (من ٢٠٠ حتى ٥٠٠ قدم). فإذا كان الجليد جافا كانت سرعة الجلمود من ٦٥ حتى ١٠٠ كم/ساعة (من ٤٠ حتى ٦٠ ميلا فى الساعة). وإذا كان الجليد رطبا كانت سرعته من ٣٠ حتى ٦٥ كم/ساعة (من ٢٠ حتى ٤٠ كم/ساعة).

ومن أمثلة الأحداث الكبيرة ما حدث فى الساعة ٣,٤٥ من مساء يوم ٣١ مارس ١٩٨٢ فى مروج ألباين فى كاليفورنيا إذ تكونت شقوق عمقها ٣ أمتار (١٠ أقدام) وطولها ٩٠٠ متر (٣٠٠٠ قدم) فى أعلى المنحدر. وتحرك جلمود وزنه ٦٥٠٠٠ طن من الجليد على شكل كتلة ارتفاعها ١٠ أمتار (٣٠ قدما) وتحرك بسرعة ١٢٠ كم/ساعة (٨٠ ميلا فى الساعة). انطلق الجلمود إلى منتجع للتزحلق على الجليد فسحق المصعد والمبانى وقتل سبعة أشخاص. فالتواجد فى جبال مغطاة بالجليد شئ عظيم، ولكن التفكير فى مبادئ حركات الكتل أثناء التواجد شئ جدير بالاهتمام.

حركات الكتل تحت سطح البحر

كثيرا ما تحدث حركات الكتل المألوفة فى سلاسل الجبال تحت سطح البحر. وتقع بين الكتل الرسوبية (الدلتاوات) التى ترسبت عند مصبات الأنهار الكبرى سقطات دورانية؛ ويحدث الانهيار المركب فى الكتل الخرسانية المدمرة فى مناطق الانضواء؛ وتنزلق جلاميد الحطام إلى أسفل المنحدرات للبراكين التى تقع تحت سطح البحر. وبعض حركات الكتل الكبرى التى تقع تحت سطح البحر أمكن تمييزها فى قاع البحر على امتداد السلسلة البركانية لجزر هاواى. فالسقوط المفاجئ ورواسب جلاميد الحطام فيها

تغطي أكثر من خمسة أضعاف مساحة اليابسة في الجزر (الشكل ٨-٣٦). ويزيد طول بعض جلاميد الحطام الفردية على ٢٠٠ كم (١٢٥ ميلا) وبأحجام تزيد عن ٥٠٠٠ كم^٢ (١١٢٠ ميلا مكعبا)، وهي من أكبر الجلاميد على وجه الأرض.

توقّف برهة وتأمّل هذا - فكل جزيرة في هاواي بها من علامات الضعف الكبرى في التكوين ما يؤهلها لانهيارات كبرى. فالأرض التي ليست صلبة بالقدر الكافي تخدعنا، فقد تنهار فجأة وعلى نطاق واسع. فمثلا، جزيرة مولوكاي ليست بها براكين، فأين ذهبت؟ الواضح أن القسم الشمالي من الجزيرة سقط في المحيط (الشكل ٨-٣٦). مخلفا وراءه جروفا شديدة الانحدار.

وماذا يحدث للمحيط عندما يسقط فيه جزء هائل من الجزيرة ويتدفق بسرعة تحت الماء؟ الموجات السنامية. فالأمواج العملاقة فيما قبل التاريخ قذفت بالمرجان والأصداف البحرية والحصى البازلتى على اليابسة حيث توجد الآن على شكل طبقات من الحصى في لاناى على ارتفاع ٣٦٥ مترا (١١٢٠ قدما) فوق سطح البحر. فالموجات السنامية بهذا الحجم لن تخرب هاواي فقط، بل تسبب الموت والدمار في حوض المحيط الهادى كذلك.

وأين يمكن أن يقع مثل هذا الحادث فيما بعد؟ من المحتمل جدا أن يقع هذا في بركان كيلويا النشط في الجانب الجنوبي الشرقي من جزيرة هاواي (الشكل ٨-٢٧). فمنطقة الصدوع العادية بالإضافة إلى حقن الصهارة في بركان كيلويا النشط تبدو كذلك رءوسا لمنحدر شديد لتحركات كتل عملاقة (الشكلان ٨-٢٧ و ٨-٢٨). فأحدى الكتل المتحركة على الجنوب الشرقي لكيلويا يزيد حجمها عن ٥٠٠٠ كم^٢ وتنزلق بمعدل حتى ٢٥ سم/سنة (١٠ بوصات في السنة). وتبرز الكتلة المنزلقة قبالة الشاطئ بحوالى ٦٠ كم (٣٧ ميلا) ولأعماق حوالى ٥ كم (٣ أميال) (الشكل ٨-٢٨). وتضم منطقة الكتلة المتحركة المنطقة الساحلية جنوب شرقي كيلويا وطولها ٨٠ كم (٥٠ ميلا). ومن الجائز أن تغطس كتلة هاواي الضخمة التي يسكنها أكثر من ١٠٠٠٠ نسمة في البحر في أعقاب زلزال كبير أو أثناء حركة صهارة كبرى.

الخشف (الهبوط)

فى الخسف تهبط الأرض إلى أسفل (الشكل ٨-١٥)؛ فإما أن ينخفض السطح ببطء أو يسقط كارثيا عندما تقفل الفجوات فى الصخور. وليس هذا هو الهبوط المصاحب للألواح التكتونية، أو حركات السقوط، أو البراكين، بل هو إما أن يكون اندماجا للرواسب الحرة المشبعة بالماء أو انهيارا سريعا فى الكهوف.

الخشف البطيء

يهبط سطح الأرض ببطء فى كثير من مناطق العالم (الجدول ٨-٣). وأكبر قدر من الخسف حدث فى وادى سان جواكين فى كاليفورنيا. فقد استخرجت كميات هائلة من الماء من باطن الأرض إلى سطحها لعدة قرون لرى المحاصيل، مما أدى إلى هبوط سطح الأرض أكثر من ١٠ أمتار (٣٣ قدما) فى بعض المناطق. فالسوائل داخل الصخور تساعد على حمل أوزان الطبقات العليا من الصخور. وأثر ذلك يماثل أثر الماء عندما تحمل جسم صديقك فى حمام السباحة حيث يساعد الماء فى حمل جسم صديقك.

وعند سحب الماء أو البترول من جوف الأرض إلى سطحها. فإن إزالة حجم كبير من السائل وانخفاض فى ضغط السائل الذى يتخلل المسام تؤدى إلى تراكم حبيبات الصخر والتصاقها ببعضها البعض؛ فيحدث هبوط فى سطح الأرض (الشكل ٨-٣٩). ومن الأمثلة ما يساعد على شرح المسألة.

دلتا نهر ميسيسيبي فى لويزيانا : دلتاوات الأنهار أماكن محببة لإقامة المدن فوقها. وتتوافر العديد من الموارد بجوار الدالات مثل: التربة الخصبة والماء العذب للشرب والرى والأطعمة البحرية والطقس اللطيف ووسائل النقل والتجارة حيث يتلاقى داخل القارة مع عالم المحيط. وتكمن المشكلة فى أن الدالات ما هى إلا أكداس حرة من الرمل والطين مشبعة بالماء؛ ولهذا تتلاحم وتهبط. وتضيف كل طبقة جديدة من الرواسب وزنا فوق الطبقات القديمة بسبب التصاقا لحبيبات الرواسب ببعضها فتنز ماء كثيراً

من محتواها (الشكل ٨-٣٩). وتقع تحت دلتا نهر ميسيبي على خط الساحل أكاداس من الرواسب سمكها ٦ كم (٣,٧ أميال) ترسبت في ٢٠ مليون سنة الأخيرة. وفي ٢٠٠٠ سنة الأخيرة هبط الإقليم هبوطا ملحوظا نظرا لتلاحم الرواسب وفقد الماء والضبط التوازني (الشكل ٨-٤٠).

وتتخفص نيو أورليانز ببطء عند الدلتا. فهبوط المدينة أمر يؤكد سحب المياه الجوفية. فهبطت أجزاء من نيو أورليانز حوالي ٣ أمتار خلال ٥٠ سنة الأخيرة. واليوم يقع حوالي ٤٥٪ من نيو أورليانز تحت مستوى سطح البحر، وبهذا تتعرض المدينة أكثر للخسائر من جرأء أمواج الماء العالية المصحوبة بالأعاصير الرعدية الممطرة (هوريكن). وكذلك تنخسف كثير من المدن الساحلية الأخرى نظرا لتلاحم حبيبات الدلتا وسحب المياه الجوفية.

إقليم هوستون - جالفستون في تكساس : من الحالات المبكرة لسحب السائل المؤدى إلى خسف الأرض ما حدث حول حقل بترول جوس كريك فيما بين هوستون وجالفستون. بدأ سحب كميات هائلة من الزيت والغاز الطبيعي وما يصاحبها من ماء إلى السطح في عام ١٩١٧. ونتيجة لذلك هبط سطح الأرض بالقدر الذي جعل ماء البحر يغمر منطقة خليج سان جاكينتنو. ونظرا إلى أن الولايات تمتلك حق استغلال المعادن في الأراضي المغمورة فقد رفعت ولاية تكساس قضية لتستولى على حقل النفط الذي يقع الآن تحت مياه البحر. وفي النهاية خسرت الولاية القضية.

فمنطقة هوستون - جالفستون واحدة من أكثر المناطق شهرة عالمية في البلاد. فقد اعتمدت كثيرا على سحب المياه الجوفية لتوفير احتياجاتها منها. ولهذا فإن منطقة تزيد عن ١٢٠٠٠ كم^٢ هبطت حتى ٢,٧ مترا (٩ أقدام). ومن الآثار الهامة الأخرى لاستيطان الأرض عودة حركات الصدوع القديمة من جديد (الشكل ٨-٤١). وهذه الصدوع تعمل على أسطح للانزلاقات العملاقة لأكداس سميكة من الرواسب الساحلية لتتزلق ببطء نحو خليج المكسيك. فالصدوع نشيطة ولكنها لا تحدث زلازل. وعلى أية حال، فهي تحطم المنازل والمباني التجارية والطرق والمعالم الأخرى.

الخشف الكارثى

بالوعات الحجر الجيرى فى جنوب شرقى الولايات المتحدة : والحجر الجيرى نوع مختلف من الصخور؛ يتكون معظمه فى البحار الضحلة الدافئة بتراكم وتحلل الأصداف وهياكل الكائنات الحية التى تزيل الكالسيوم (Ca) والكربون (C) والأكسجين (O) من ماء البحر لتبنى مادة هياكلها من كربونات الكالسيوم (CaCO_3) وتبنى بعض الكائنات الحية الحجر الجيرى مباشرة على شكل شعاب مرجانية. وتموت كائنات حية أخرى فتلتحم أصدافها وفقراتها ورفاتها المتحجرة الأخرى ببعضها البعض بفعل كربونات الكالسيوم CaCO_3 بانتشارها بين الثقوب كالأسمنت.

تكوّن الحجر الجيرى فى الزمن الجيولوجى الماضى على نطاق واسع عندما غمرت مياه المحيطات الدافئة والضحلة وسط وجنوب شرقى الولايات المتحدة. واليوم يتدفق الماء العذب الحامضى خلال الحجر الجيرى فى هذه الأقاليم فيحللها ويكون شبكة واسعة من الكهوف الكبيرة. وعندما تنقص مستويات الماء أثناء القحط أو بسبب السحب من الماء الجوفى، فإن إزالة الماء تقلل من الدعم الداخلى الذى يعمل على حمل أسقف الكهوف. وفقدان الدعم الكافى الذى يحدث عند سحب الماء الجوفى من الكهوف يضعف بعضها إلى الدرجة التى تؤدى إلى انهيار سقوفها فجأة وبشكل كارثى لتكوّن البالوعات. وفى كل عام ترينا الصحف ووسائل الإعلام الإلكترونية أمثلة من هذه الانهيارات المفاجئة (الشكل ٨-٤٢). وفى ألاباما وحدها يقدر عدد البالوعات التى تكونت منذ عام ١٩٠٠ حوالى ٤٠٠٠ بالوعة.

ويقع تحت كثير من وسط فلوريدا حجر جيرى مغطى فى معظم المناطق بطبقة سمكها من ١٥ حتى ٣٠ مترا (من ٥٠ حتى ١٠٠ قدم) من الرمل الطينى. وعندما ينخفض منسوب كتلة الماء الجوفى نظرا للقحط الذى يقلل من الموارد المائية أو بفعل الإنسان بالسحب الجائر وزيادة أبار المياه الجوفية فإن الكهوف الكبيرة فى الحجر الجيرى تنصرف منها المياه. فإن سحبت الماء ضعفت الكهوف وربما انهارت. وفى يوم ٨ مايو ١٩٨١ زاد المنخفض الصغير فى أرض وينتر بارك فى فلوريدا حتى وصل إلى قطر ٤٥ مترا (١٥٠ قدما) فى فجوة انهارت (بالوعة) فى ظرف ١٥ ساعة. وقبل انتهاء

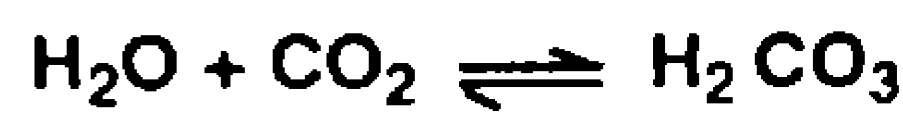
الأسبوع كان قطر البالوعة ١٠٠ متر (٢٢٥ قدما) وعمقها ٢٤ مترا (١١٠ قدم) (الشكل ٨-٤٣). وهدم الكهف المنهار منزلا واحدا وعدة قطاعات من إحدى الورش والطرف العميق من حمام سباحة البلدية.

حاشية جانبية: كيف يتكون الكهف

تتكون الكهوف عادة في الحجر الجيري. وتستخدم نفس المعادلة التي تحدد تكوين الحجر الجيري كذلك في تحديد تحلله في الكهوف. والمعادلة الأساسية هي:



حيث إن Ca هي أيون الكالسيوم و HCO_3 هي أيون البيكربونات و CaCO_3 هي الحجر الجيري و H_2CO_3 هي حامض الكربونيك. وعندما تسير المعادلة من اليسار إلى اليمين ينتشر الحجر الجيري. وعندما تسير المعادلة من اليمين إلى اليسار يتحلل الحجر الجيري. والمتغير الأولي الذي يتحكم فيما إذا كان الحجر الجيري ينتشر أو يتحلل هو مقدار حامض الكربونيك المتواجد. والمتغير الأساسي الذي يتحكم في تركيز حامض الكربونيك هو مقدار ثاني أكسيد الكربون في المحلول:



فإذا زاد المحتوى المذاب في ثاني أكسيد الكربون صار الماء غنيا بحامض الكربونيك وتحلل الحجر الجيري. وهذا يصف كذلك ما يحدث في المشروبات الغازية المعروفة، حيث يحتوى الماء المحلى بالسكر على كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون CO_2 في المحلول تحت الضغط. والمحتوى من ثاني أكسيد الكربون يزيد عندما يكون الماء مضغوطا وباردا؛ وهذا يعنى أن فقاعات الغاز مذابة في المحلول.

موجز

تسحب الجاذبية بدون انقطاع جميع أشكال اليابسة على الأرض محدثة انهيارات تسمى حركات الكتل. وتتراوح هذه الحركات من زحف أسطح التلال الذي لا يكاد يلاحظ، حتى تدفقات الحطام التي تتحرك بسرعة تزيد عن ٢٠٠ ميل في الساعة. وتنتهي حركة المواد السطحية الساحة للزحف. فالتربة والصخور تنتفخ إلى أعلى عموديا على السطح نظرا لتجمد الماء في المسام ولابتلال الصلصال وتمدد الحجم بفعل حرارة الشمس. وتتقلص مباشرة إلى أسفل بفعل سحب الجاذبية عند ذوبان الجليد والجفاف والبرودة فتحدث منظومة من الحركات إلى أسفل المنحدرات.

وتحدثُ المنحدرات انهيارات بفعل عناصر خارجية مثل شدة ميل المنحدر أو إضافة كتلة فوق المنحدر أو إزالة كتلة من تحت المنحدر. وتشمل العوامل الداخلية التي تضعف المنحدر أصلا المواد الضعيفة مثل معادن الصلصال ونقص التماسك في المحلول أو التحات الداخلى وثقل الماء المسامى ورفع ضغط الماء المسامى والتكوينات الجيولوجية المعاكسة مثل قاع الأساس المائل وأسطح الصدوع وعروق الصلصال. وكثير من العوامل تدفع المنحدر نحو الانهيار. وتبدأ الحركة بحادث محفز مثل الأمطار الغزيرة والزلازل والنشاط البشرى.

ومن النماذج الكبرى لحركات الكتل السقوط إلى أسفل مثل السقوط والخسف (الهبوط)، أو السقوط إلى أسفل وإلى الخارج مثل الانزلاق والتدفق. فالسقوط يحدث لكتل صخرية أزيحت من منحدرات مرتفعة؛ فإذا كانت كبيرة بالقدر الكافى فربما تحولت من سقوط إلى انزلاق أو تدفق.

والانزلاقات حركات كتل فى أعلى السطوح الضعيفة. فالمقعر - إلى أعلى، أسطح ضعيفة مقوسة يحدث انزلاقات دورانية. وهنا تميل رأس المنزلق إلى الخلف، بينما تبرز قدم المنزلق إلى أعلى، وتسير مسافة قصيرة. والانزلاقات الدورانية مدمرة شائعة للممتلكات؛ ولكن حركاتها البطيئة يندر أن تقتل أحدا.

وتسمى الانزلاقات على قمة أسطح منحدرية أو مستوية بالتحويلية؛ ويمكنها قطع مسافات كبيرة وبسرعة. والكتل التحويلية ربما بقيت متماسكة على شكل انزلاقات الكتل التي تدمر الأموال مثلما حدث في بوينت فيرمين في كاليفورنيا؛ وربما تفككت إلى انزلاقات حطام تقتل آلاف البشر مثلما حدث في قايونت في إيطاليا؛ أو ربما انتشرت عرضيا على السطح عندما تتشوه طبقة من الصخر سفلية ضعيفة.

والتدفقات حركات كتلة تظهر كالسوائل، حتى ولو كانت جافة. وربما كانت التدفقات من الحصى والرمال والطين والثلج والجليد أو خليطا من المواد. وتحدث تدفقات الطفلة في الصين تهز الزلازل الغرين ليعلق في الهواء؛ وهذه التدفقات تقتل مئات الآلاف من البشر في حوادث منفردة. وتدفقات التربة تدمر كثيرا من المباني كما حدث في منطقة بورتوجير بيند في لوس أنجلوس. وحركات السقوط البعيدة المدى والسريعة تدفقات تقطع مسافات بعيدة بصفة خاصة تبلغ ٢٥ ضعفا لمسافة سقوطها الرأسى. والسيولة الكبيرة لحركات السقوط البعيدة المدى والسريعة ربما كان مرجعها للطاقة الصوتية أو الذبذبات الكامنة في الكتلة الساقطة، فتجعل الحبيبات تتدافع ولكن للخارج. ويمكن لحركات السقوط البعيدة المدى والسريعة أن تتجاوز سرعتها ٢٠٠ ميل/ساعة فتقتل آلاف من البشر.

ويحدث الخسف (الهبوط) عندما يهبط السطح إلى أسفل إما ببطء استجابة لإزالة المياه الجوفية أو النفط، أو كارثيا مثل انهيار أسقف الكهوف الكبيرة في الحجر الجيري مكونة بالوعات. وتتكون منظومات الكهوف الواسعة في الحجر الجيري في بقاع كثيرة من وسط وجنوب شرقى الولايات المتحدة.

وتبدو أكبر حركات الكتل على وجه الأرض في الانهيارات تحت سطح الماء. وتعانى جزر هاواي من انهيارات للكتل أكبر من ٥٠٠٠ كم^٣. ويعيش حوالى ١٠٠٠٠ مواطن فوق الكتلة الأكثر احتمالا للسقوط الكارثى فى المستقبل.

مصطلحات للمذاكرة

acoustic fluidization	التسييل الصوتى
bedding	تطابق الصخور وخاصة الرسوبية (الطباقية)
bedrock	صخر الأساس
bentonite	صلصال من رماد البراكين
carbonic acid	حامض الكربونيك
cavern	كهف كبير
chemical weathering	تجوية كيميائية
clay minerals	معادن صلصالية
creep	زحف
daylighted bedding	أساس تتخلله فراغات
debris flow	تدفق الحطام
delta	دلتا
eddy	دوامة مائية
fall	سقوط
flow	تدفق
limestone	حجر جيرى
mass movement	تحرك الكتلة
pipng	سحب الماء الجوفى
pore- water pressure	ضغط الماء فى المسام
porosity	مسامية
quick clay	الصلصال الناعم السواخ
rotational slide	انزلاق دورانى
shear	قص
sinkhole	بالوعة
slate	إردواز

slide	انزلاق
slump	تدهور على سطح مقوس
soil	تربة
sturzstrom	سقوط بعيد المدى وسريع
subside	ينخسف - يهبط
syncline	قعيرة - طية مقعرة
translational slide	انزلاق تحويلي
vortex	دوامة

أسئلة للمراجعة

- ١ - اشرح آليات الزحف. ماذا يؤدي إلى تمدد وتقلص التربة وصخور السطح؟
- ٢ - ارسم قطاعا مقطوعيا في منحدر و اشرح العوامل الخارجية التي يحتمل أن تؤدي إلى الانهيار مثل حركات الكتل.
- ٣ - ارسم قطاعا مقطوعيا في معدن صلصالي. و اشرح الخصائص الفيزيائية (الطبيعية) التي تحدث التمدد والتقلص.
- ٤ - ارسم جزيئا للماء و اشرح كيف يلتحم بسرعة ببعض المعادن الصلصالية.
- ٥ - ارسم قطاعا مقطوعيا و اشرح كيف يتكون الرمل السواخ.
- ٦ - كيف يصبح الماء في المسام مضغوطا؟ وما دوره في حركات الكتل؟
- ٧ - سجل بعض التكوينات الجيولوجية المعاكسة داخل التلال التي تيسر حركات الكتل.
- ٨ - ارسم قطاعا مقطوعيا و اشرح طريقة الدائرة السويدية في تحليل استقرار المنحدر للانزلاقات الدورانية.
- ٩ - ارسم قطاعا مقطوعيا و اشرح كيف تعمل الانزلاقات التحويلية.

١٠- عانت الصين بفقد مئات الآلاف من المواطنين في أحداث تدفقات الراسب الطفلى الفردية. اشرح كيف تعمل هذه التدفقات السريعة.

١١- ما هي الأحداث المحفزة لبدء حركة الكتل السريعة؟ فمثلا، في إيلم في سويسرا؛ وفي قاينوت في إيطاليا، وفي نيقاوس هواسكاران في بيرو.

١٢- قارن بين جلمود الجليد وحركة الكتل الترابية أو الصخرية.

١٣- لماذا تنخسف ببطء المدن الساحلية الواقعة في دالات الأنهار، مثل نيو أورليانز في لويزيانا؟ ولماذا تهبط ببطء بعض المدن القريبة من آبار البترول العملاقة، مثل هوستون- جالفستون في تكساس؟

١٤- لماذا تتكون منظومات الكهوف الكبيرة في الحجر الجيري؟ ولماذا تنهار أحيانا وتكون بالوعات؟

أسئلة لمزيد من التأمل

١ - تشق الطرق الرئيسية عادة عند قاعدة المنحدرات. وعندما تقفل حركات الكتل الطريق تزال بسرعة. فما هو الخطأ في كل هذه العملية؟

٢ - ارسم قطاعا مقطوعيا لتل مكون من طبقات من الصخر مائلة. ففي أى جانب من التل تستطيع أن تبني منزلك؟

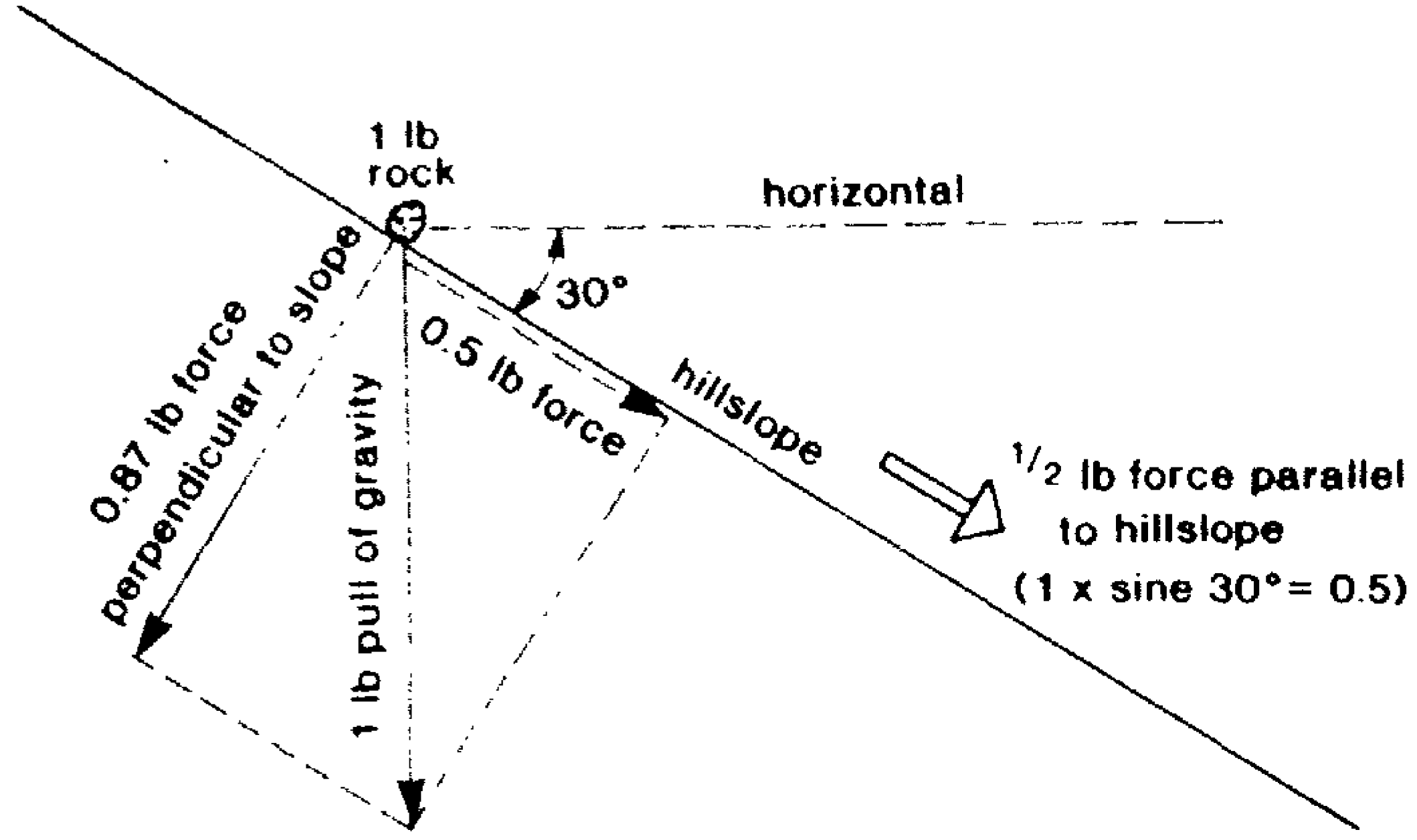
٣ - عُرِضَتْ فكرة التسييل الصوتى على أنها آلية للحركة السريعة والتدفقات البعيدة المدى، ولكنها لم تلق ترحيبا واسع النطاق. فما هي الاختبارات أو التحاليل التى يمكن إجراؤها لتقييم حقيقتها؟

٤ - قيّم أخطار حركات الكتل على سكان المناطق الساحلية في جنوب شرقى بركان كيلويا فى هاواى.

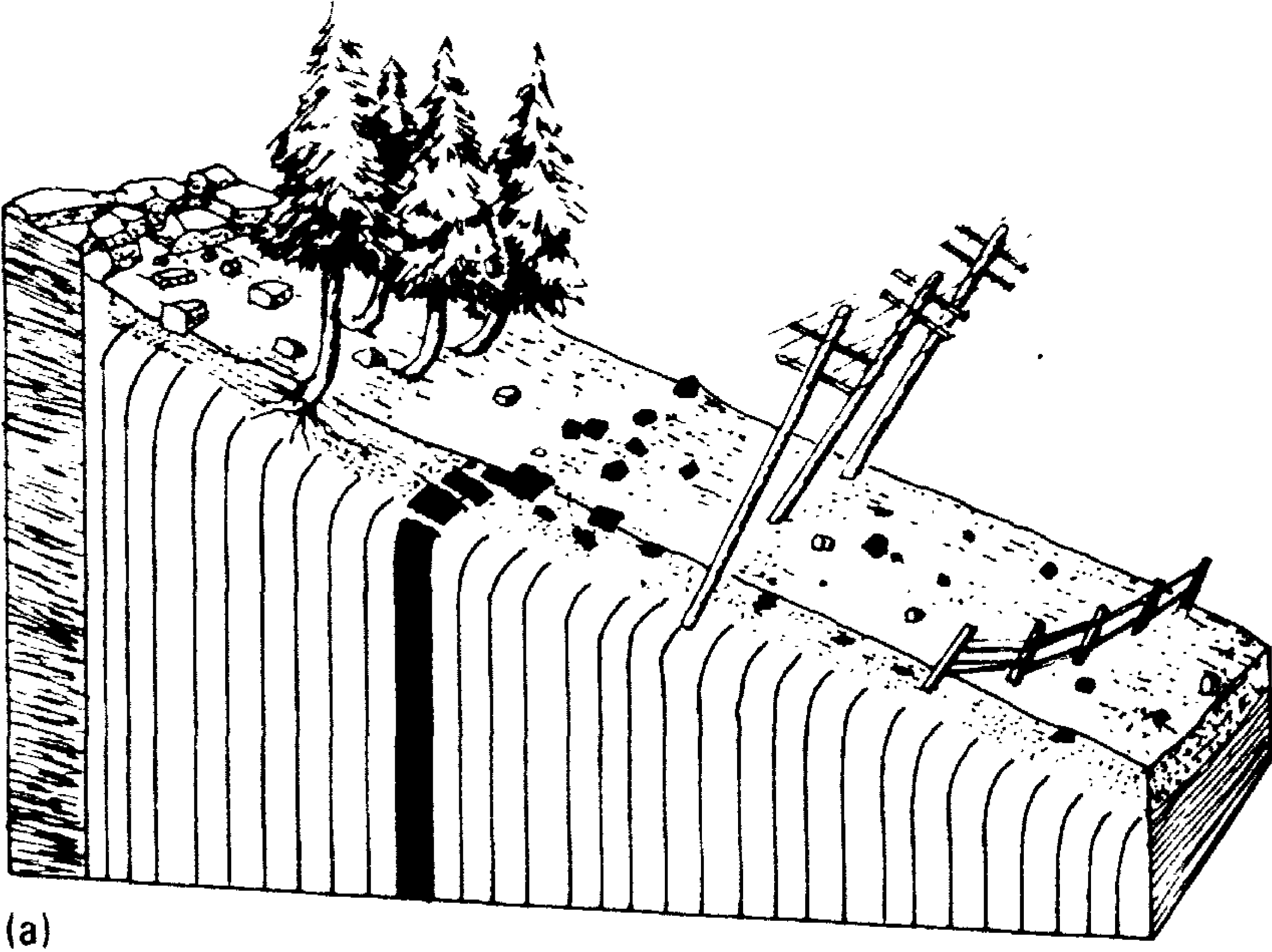
٥ - هل يستطيع السحب الجائر لكميات كبيرة من الماء الجوفى أو النفط تحفيز حركة على صدع نشيط؟

٦ - كيف تحمى نفسك من انهيارات الكهوف الكبيرة التى تكون بالوعات؟

أشكال الفصل الثامن



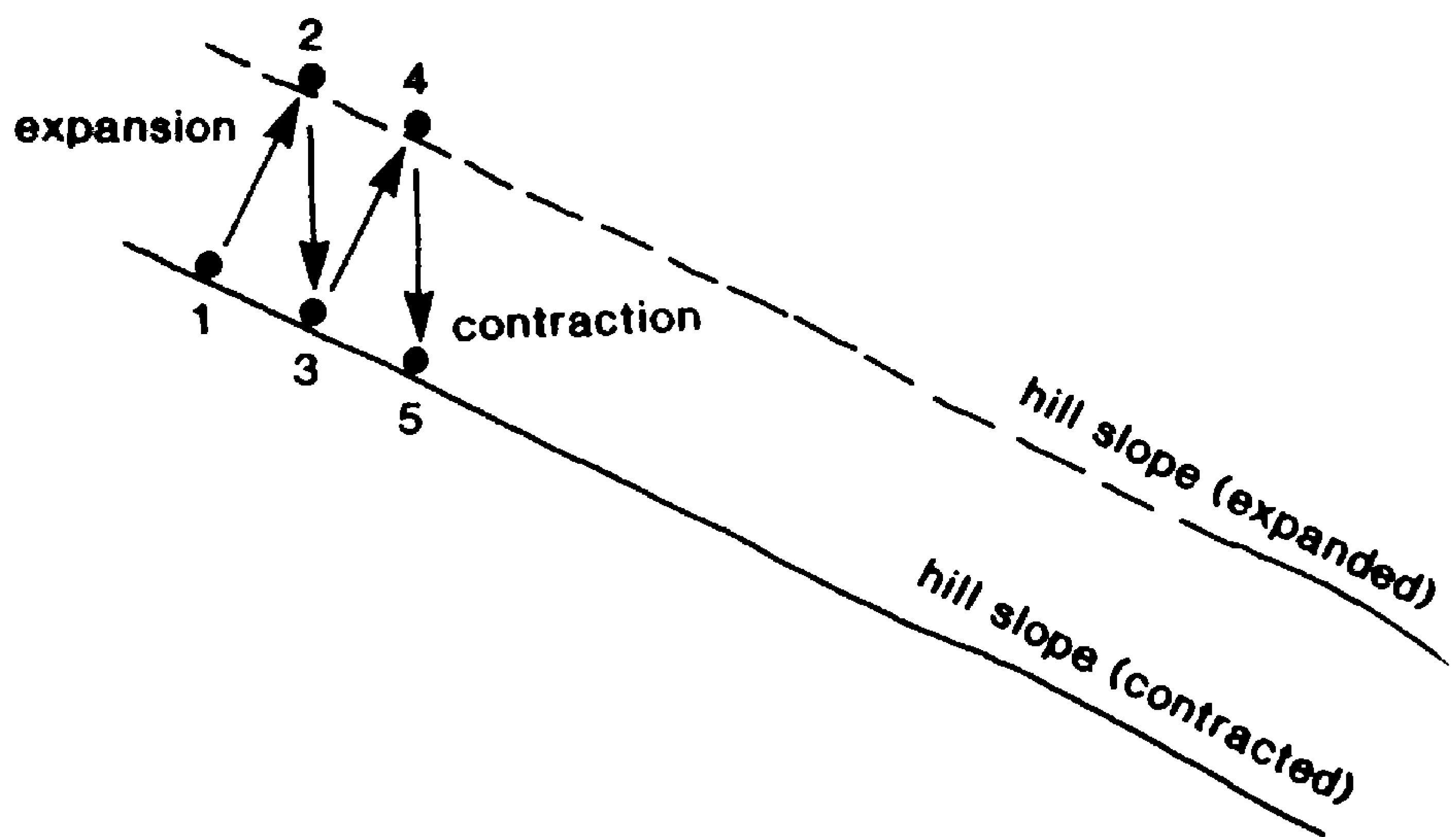
الشكل (٨-١) القوى الجاذبة تعمل على جلمود وزنه رطل ويقع فوق منحدر ميله ٣٠ درجة.



الشكل (٨-٢) (أ) رسم تخطيطي مكعب لمنحدر يوضح آثار الزحف. فالتربة تتحرك ببطء وصخر الأساس يتشوه إلى أسفل التل.



الشكل (٨-٢) (ب) شوه الزحف طبقات الصخر بالقرب من ماراثون في تكساس.



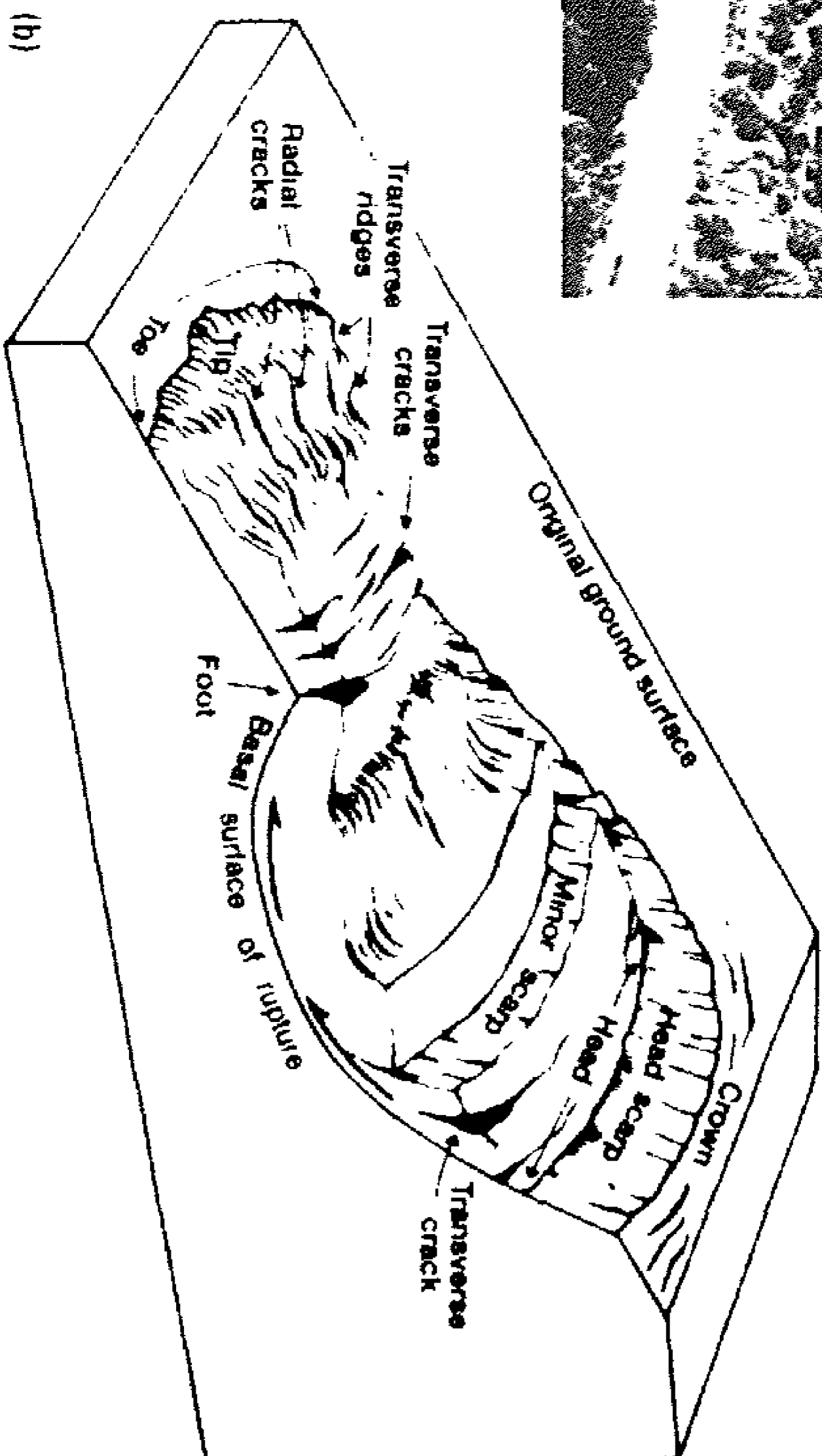
الشكل (٨-٢) كيف يحدث الزحف. يتمدد سطح المواد عموديا (مثلما هو واضح من النقطة ١ إلى النقطة ٢) عند تجمد الماء في المسام وينتفخ عندما يتبلل ويسخن بحرارة الشمس. ويتقلص سطح المواد (مثلما هو واضح من النقطة ٢ إلى النقطة ٣) عندما يذوب الثلج ويجف ويبرد. فالانكماش (التقلص) يحدث تحت تأثير الجاذبية. ويكون متجها إلى مركز الأرض. ونتيجة لذلك تحدث حركة الانزلاق الخالصة إلى أسفل المنحدر، أي الزحف.



الشكل (٨-٤) زحف على نطاق واسع في أعلى التل يتدرج ليصبح تدفقات أسرع إلى أسفل المنحدر في وسط كاليفورنيا.

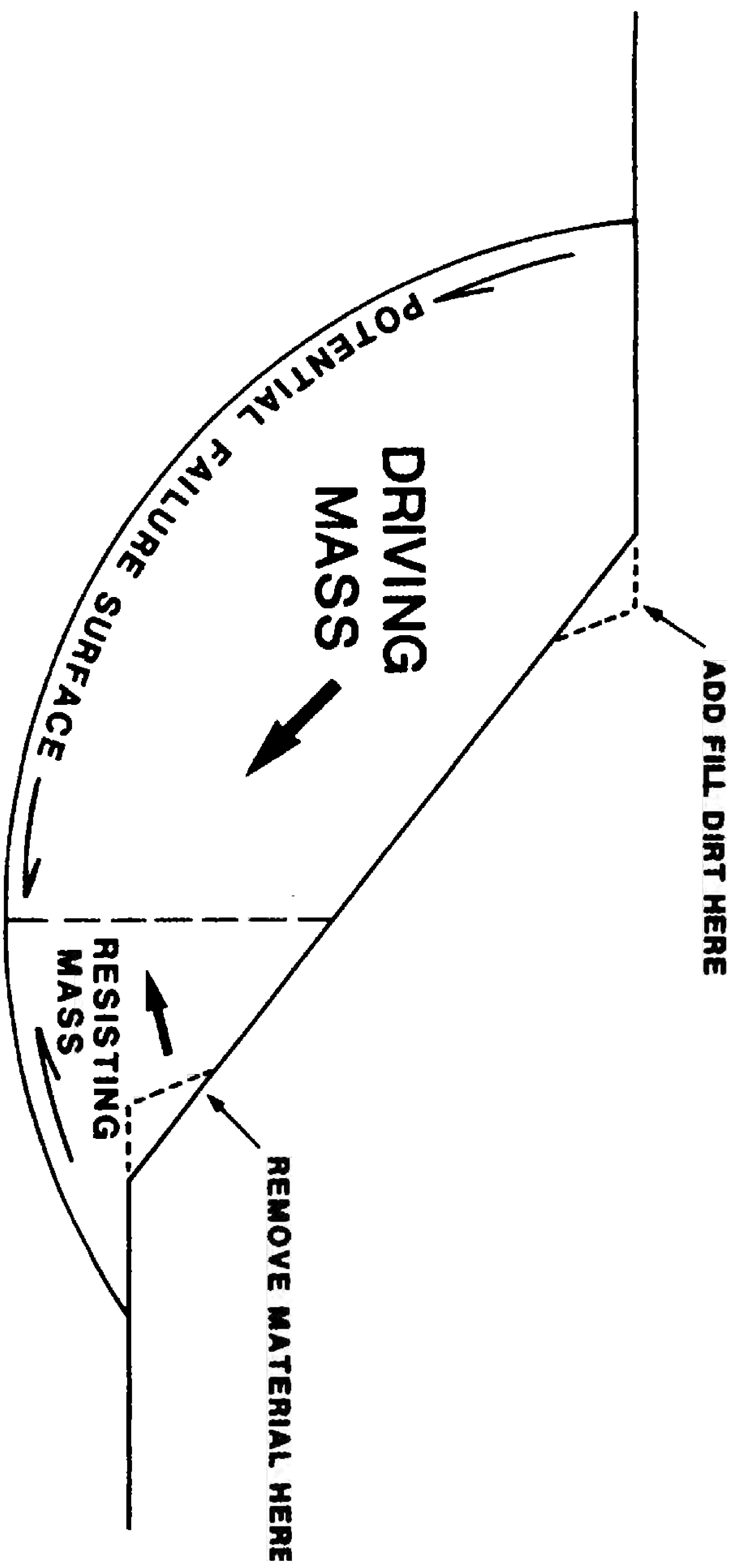


(a)



(b)

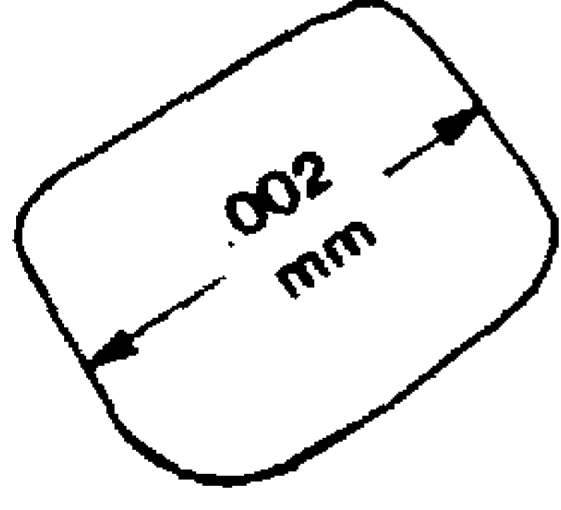
الشكل (٨-٥) (أ) انزلاق أرضى يوضح الحركة إلى أسفل وإلى الخارج. (ب) وتتكون بعض التضاريس الطبوغرافية من الانزلاق في حركاته إلى أسفل وإلى الخارج.



How to cause a landslide: (1) Load the head, (2) Reduce the toe

الشكل (٨-٦) ميل لأحد التلال مكون من مواد متجانسة ربما ينهار على سطح قاعدي مقوس. والمنحدر متوازن عندما يمنع جزء من الكتلة الطاردة بفعل جزء من الكتلة المقاومة. فإذا زادت الكتلة الطاردة أو أزيلت (أو نقصت) الكتلة المقاومة حدث الانزلاق. فهل يذكر هذا الموقف بآية إنشاءات في منطقتك؟

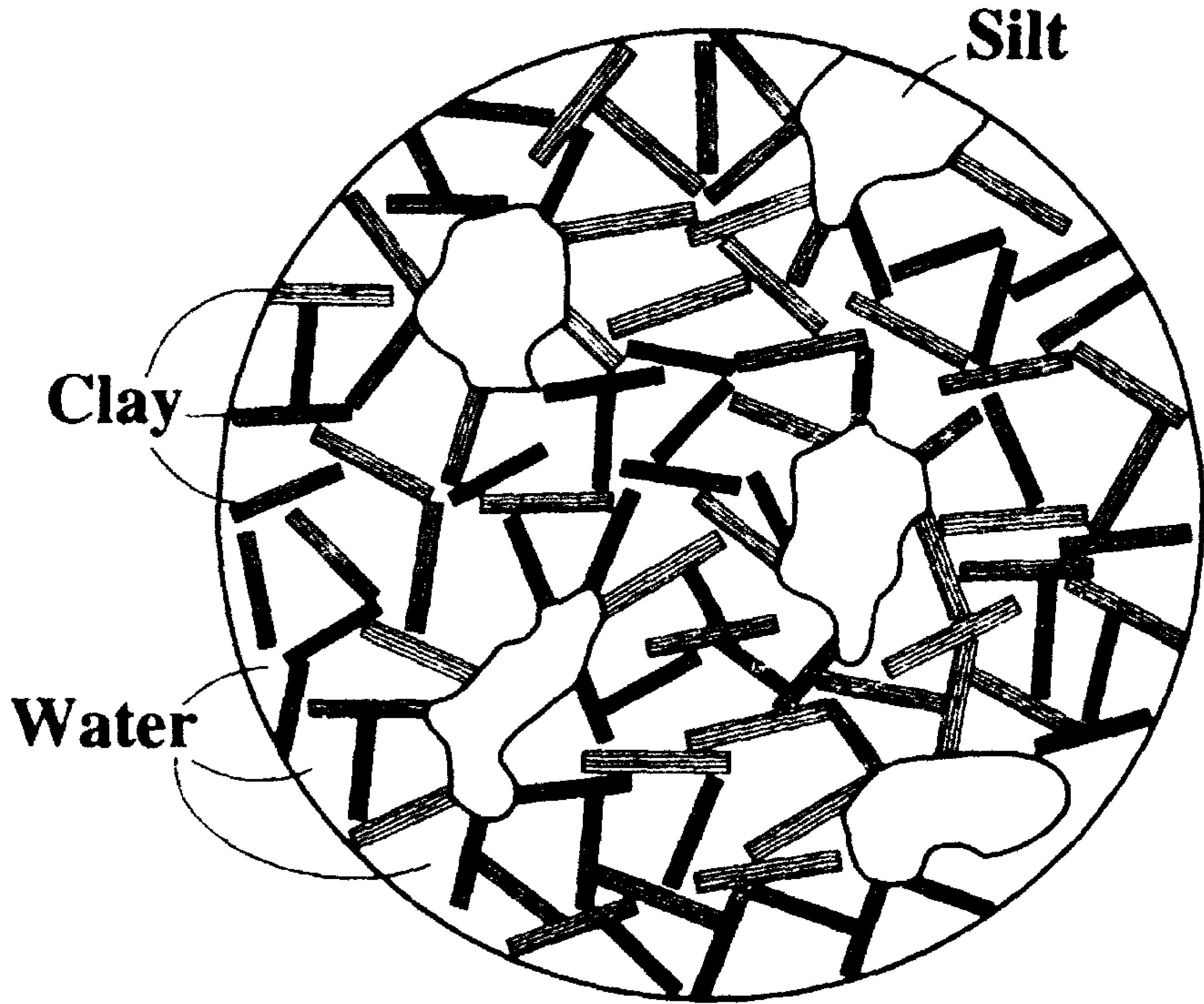
TOP VIEW



SIDE VIEW



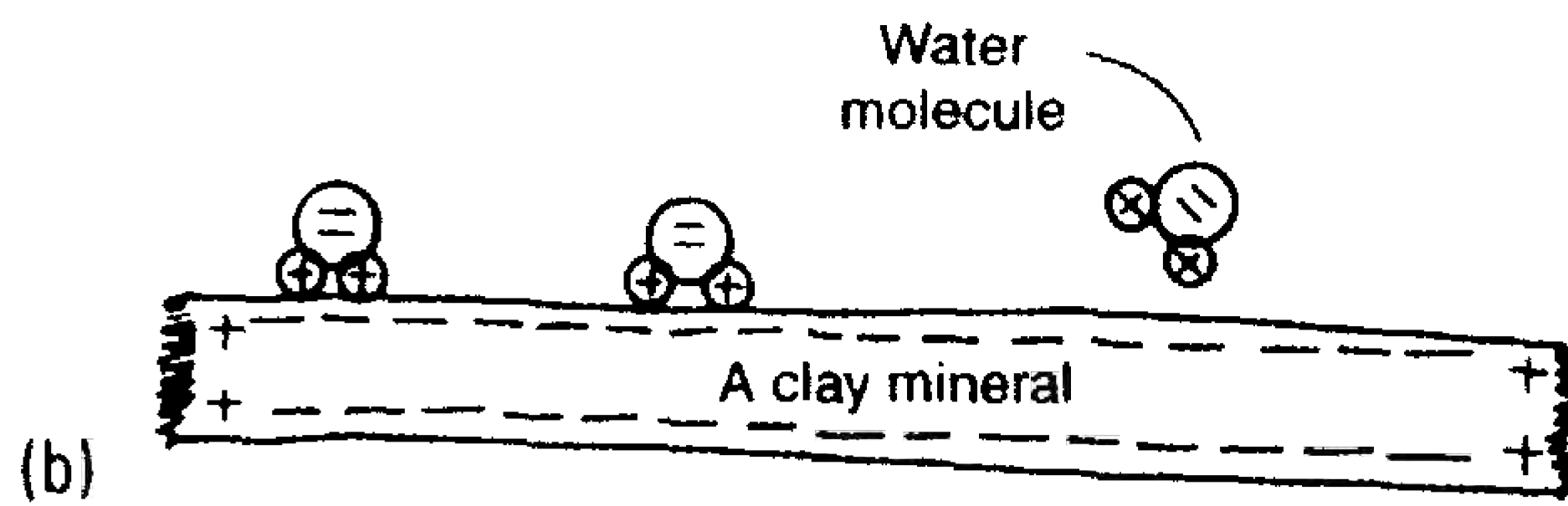
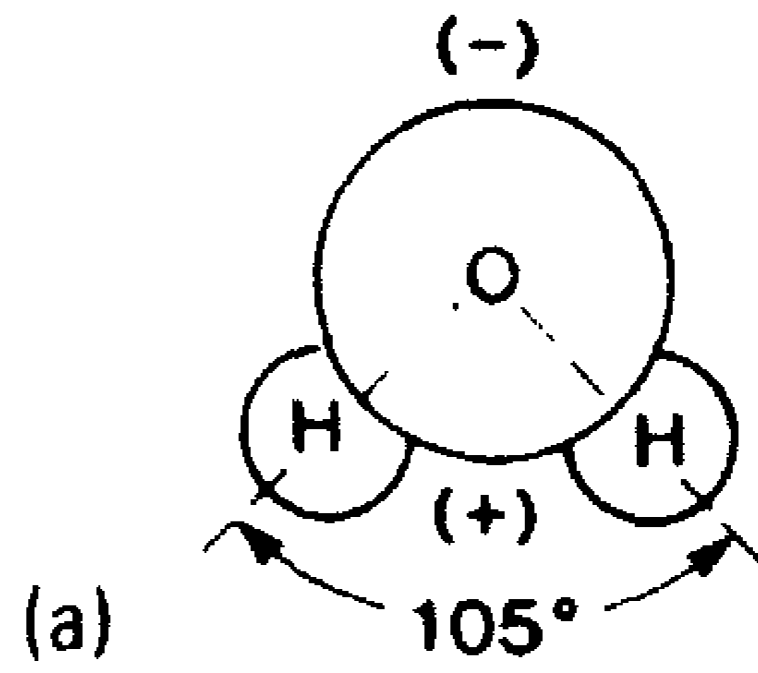
الشكل (٧-٨) مناظر تخطيطية لحجم وتكوين معدن الصلصال.



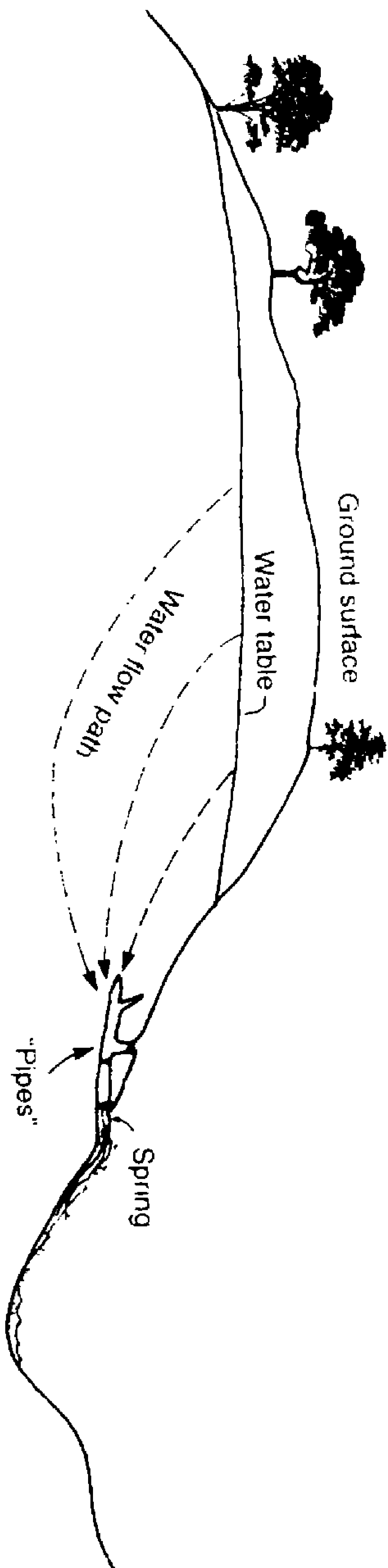
الشكل (٨-٨) تركيبة «منزل من أوراق اللعب» في الصلصال السريع. فرقائق معدن الصلصال متشابكة في وضع نسبي غير مستقر بحبيبات الغرين وكثير من الماء.



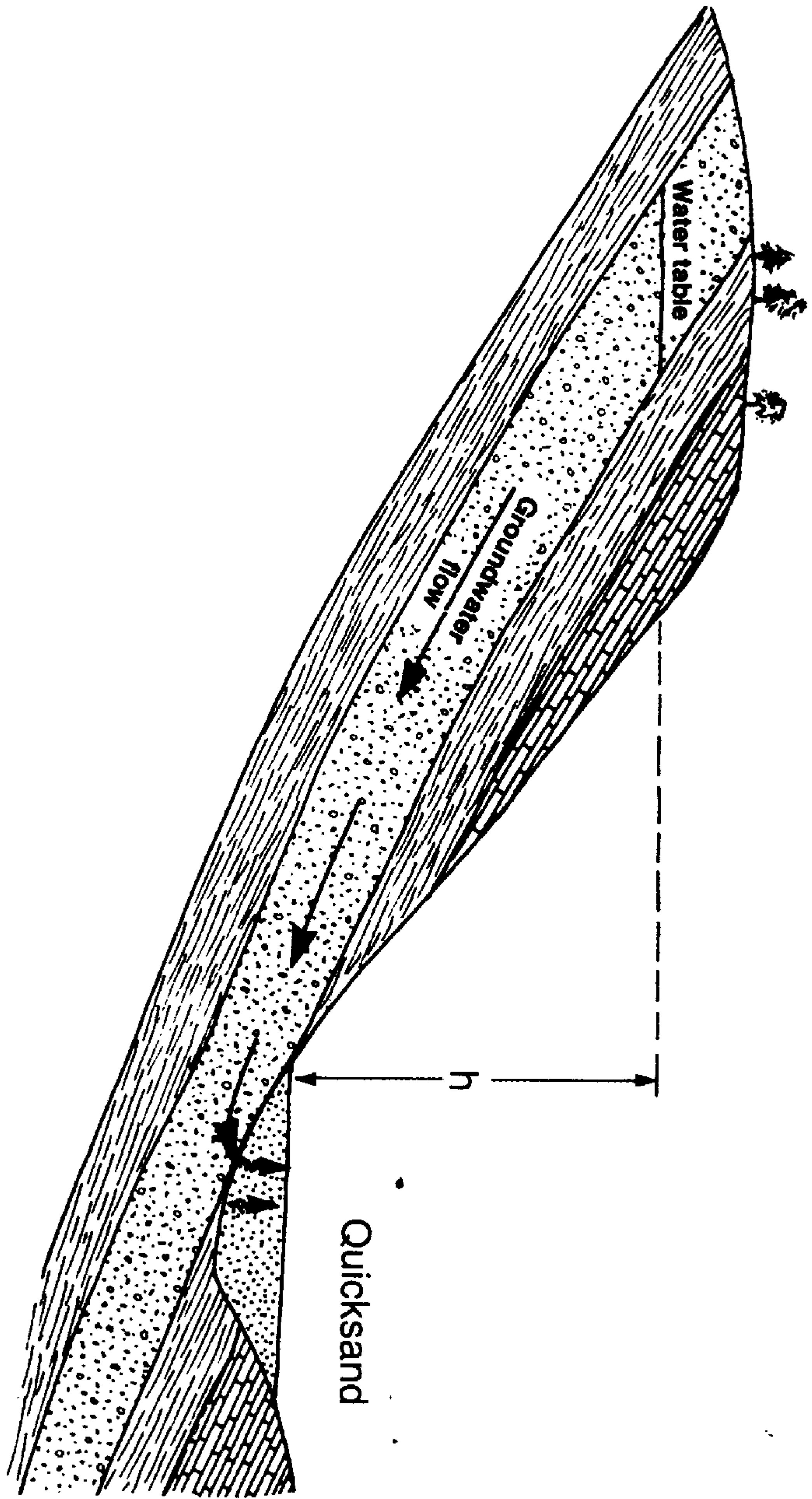
الشكل (٨-٩) تدفق كتلة من الصلصال السريع والرمل مقدارها ٣.٥ مليون متر مكعب في نهر ساوث بيشن بالقرب من ليميو في أونتاريو في كندا في يوم ٢٠ يونية ١٩٩٣. وفي أعلى اليمين طريق المحافظة رقم ١٦.



الشكل (٨-١٠) (أ) الماء ذو جزئ ثنائي الأقطاب. فذرتان من الإيدروجين (كل منها H^+) تتحدان مع ذرة من الأكسجين (O^{2-}) مكونة جزيئا محايدا كهربائيا. وعلى أية حال، فإن عدم التناسق في الجزئ يجعل أحد الجوانب سلبيا بسيطاً والجانب الآخر إيجابيا. (ب) ويتحد الجانب الإيجابي لجزئ الماء مع سطح معادن الصلصال ذات الشحنة السلبية.



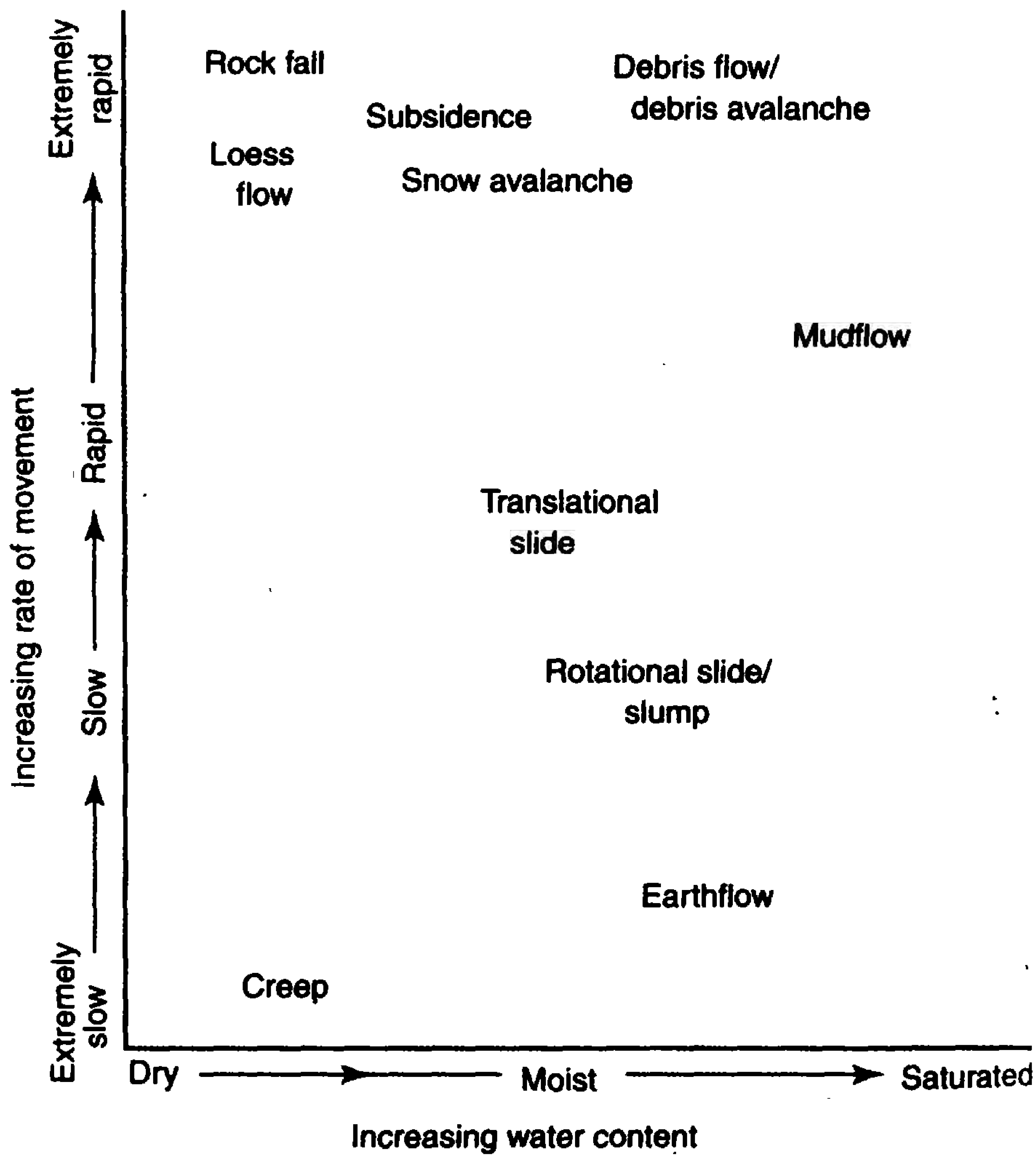
الشكل (١١-٨) قطاع مقطعي تخطيطي للماء الجوفي يتدفق في صخور ضعيفة التدعيم. ويحمل الماء رواسب إلى السطح عند الينابيع. وهذا التحات يكون شبكة من الكهوف الكبيرة التي تضعف التل إلى درجة الخطورة.



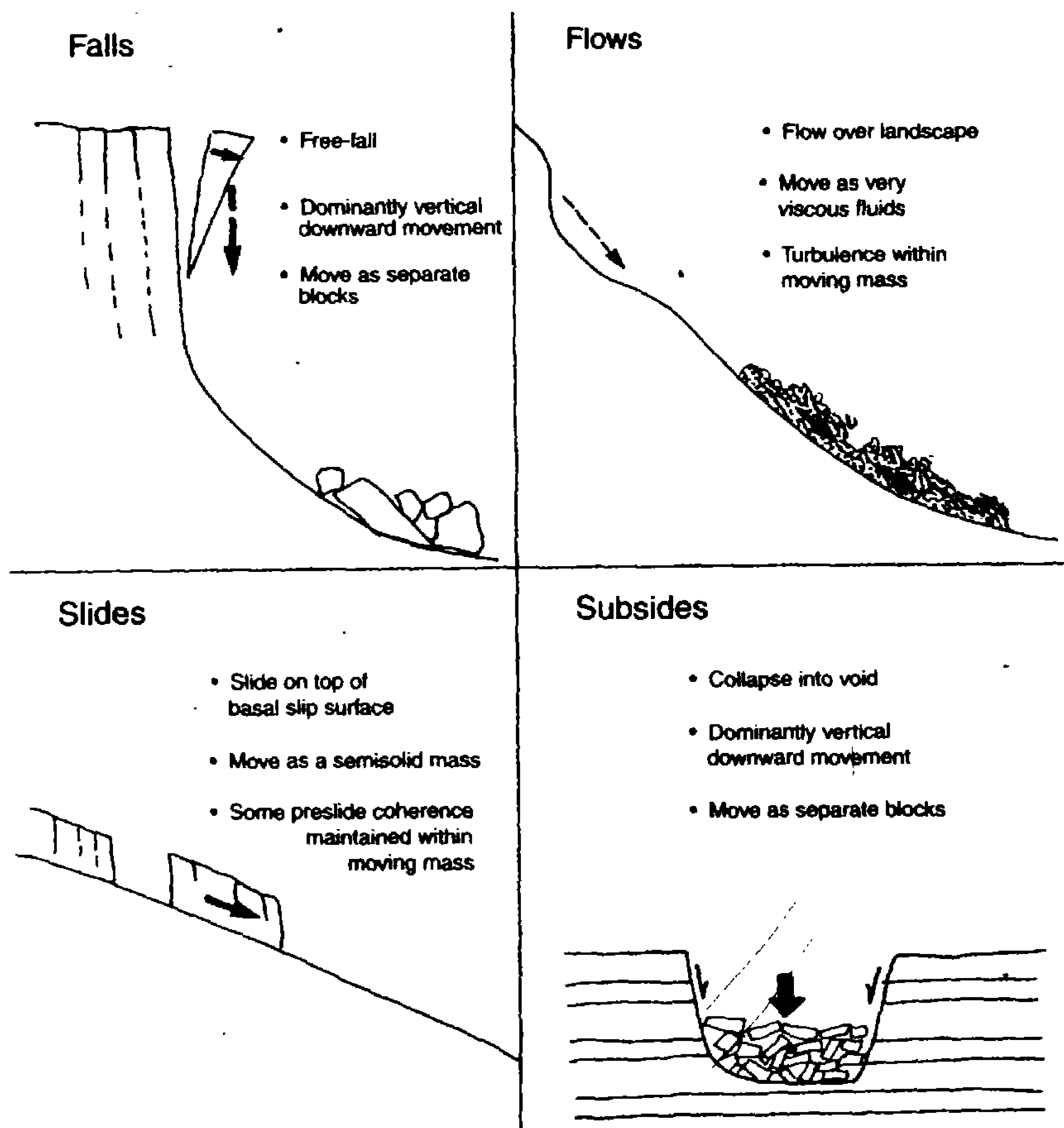
الشكل (٨-١٢) قطاع مقطعي تخطيطي يوضح الماء الجوفي وهو يدفع بعامود مرتفع (h) ويصل إلى السطح من خلال الرمال الحرة. وتعاذل قوة الرفع للماء المتسرب وزن حبيبات الرمل فتصنع الرمل السواخ.



الشكل (٨-١٢) قطعة من سطح منزلق قاعدي أملس ومخدوش تكون من ثقل كتلة منزلقة راكبة. ورىُ
الفناء الذي قام به ملاك المنازل مدد المعادن الصلصالية، فاستعاد نشاط الانزلاق الأرضي
القديم ودمر سبعة منازل في سان دييجو في كاليفورنيا.



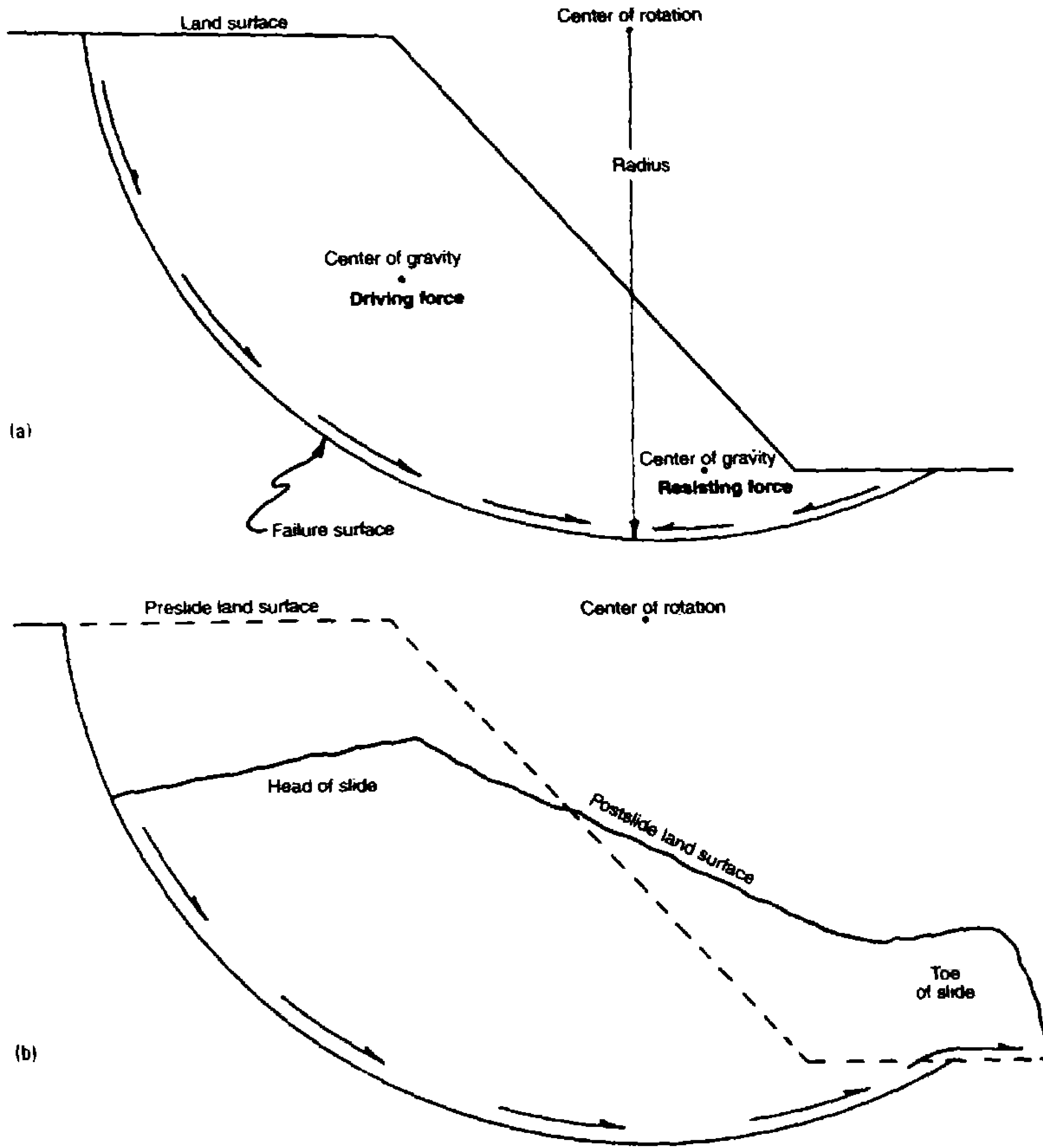
الشكل (٨-١٤) سرعة حركات الكتل مقابل المحتوى من الرطوبة.



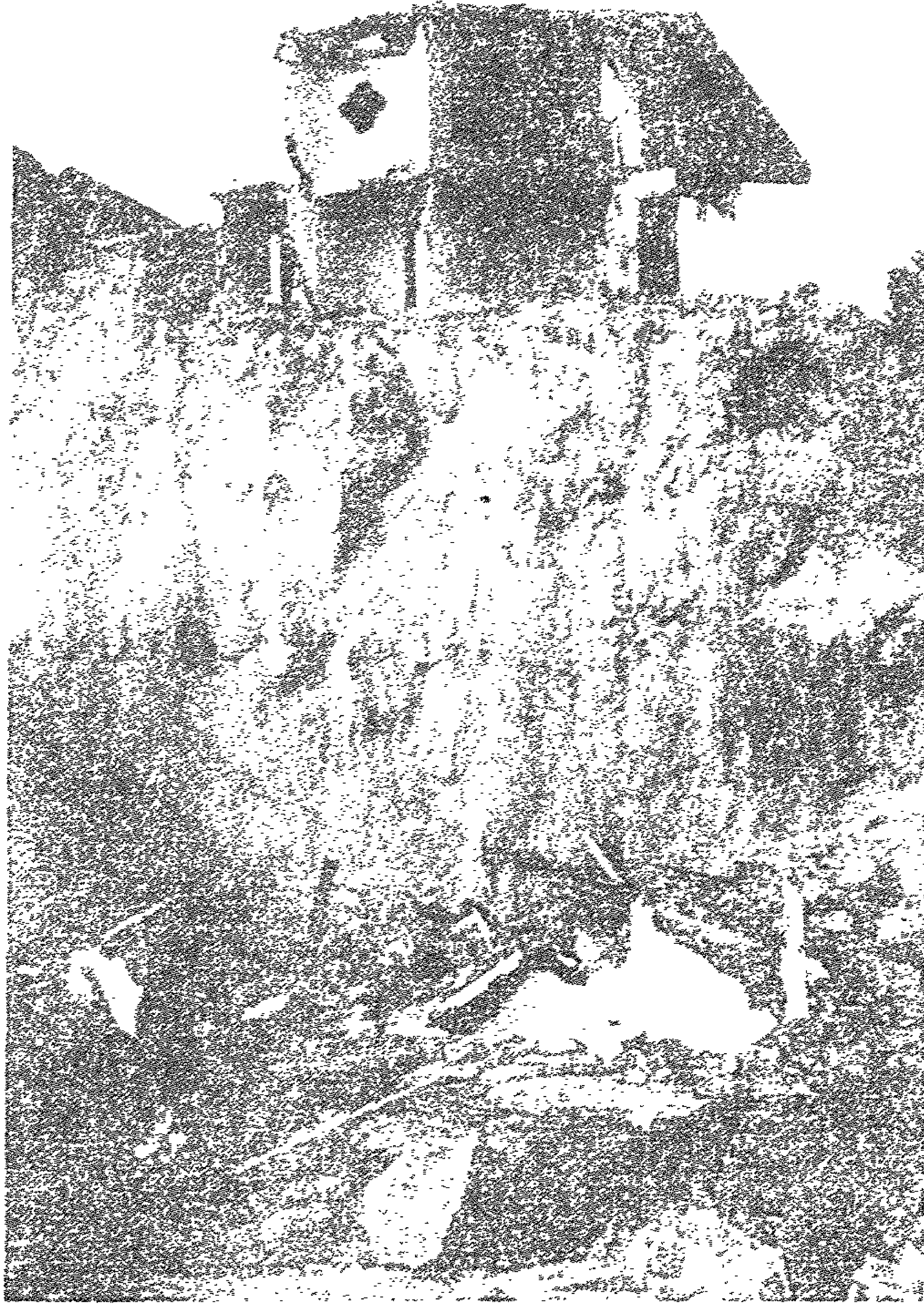
الشكل (٨-١٥) تصنيف حركات الكتل.



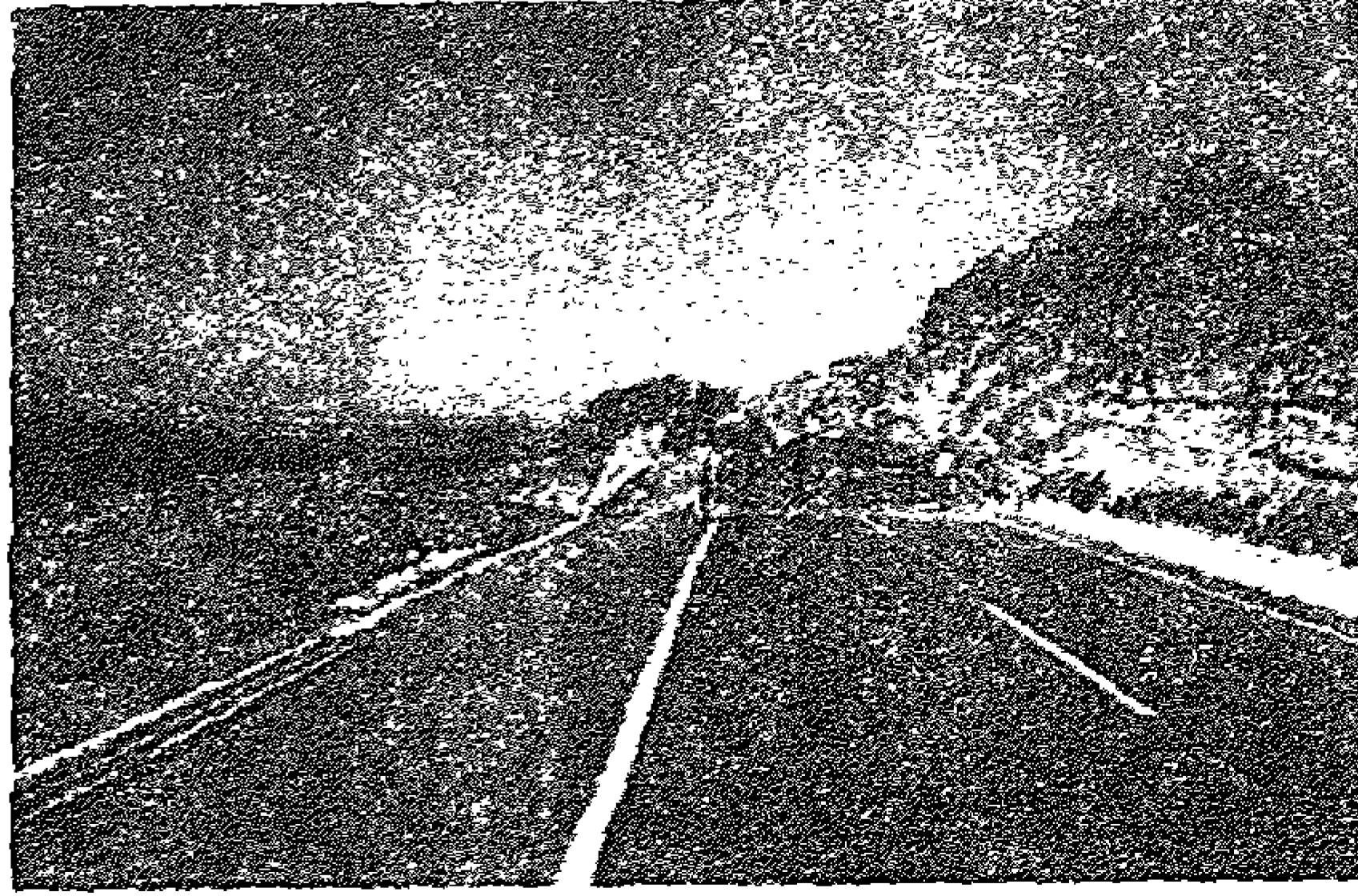
الشكل (٨-١٦) سقوط من واجهة أحد الجروف في نيوزيلاند.



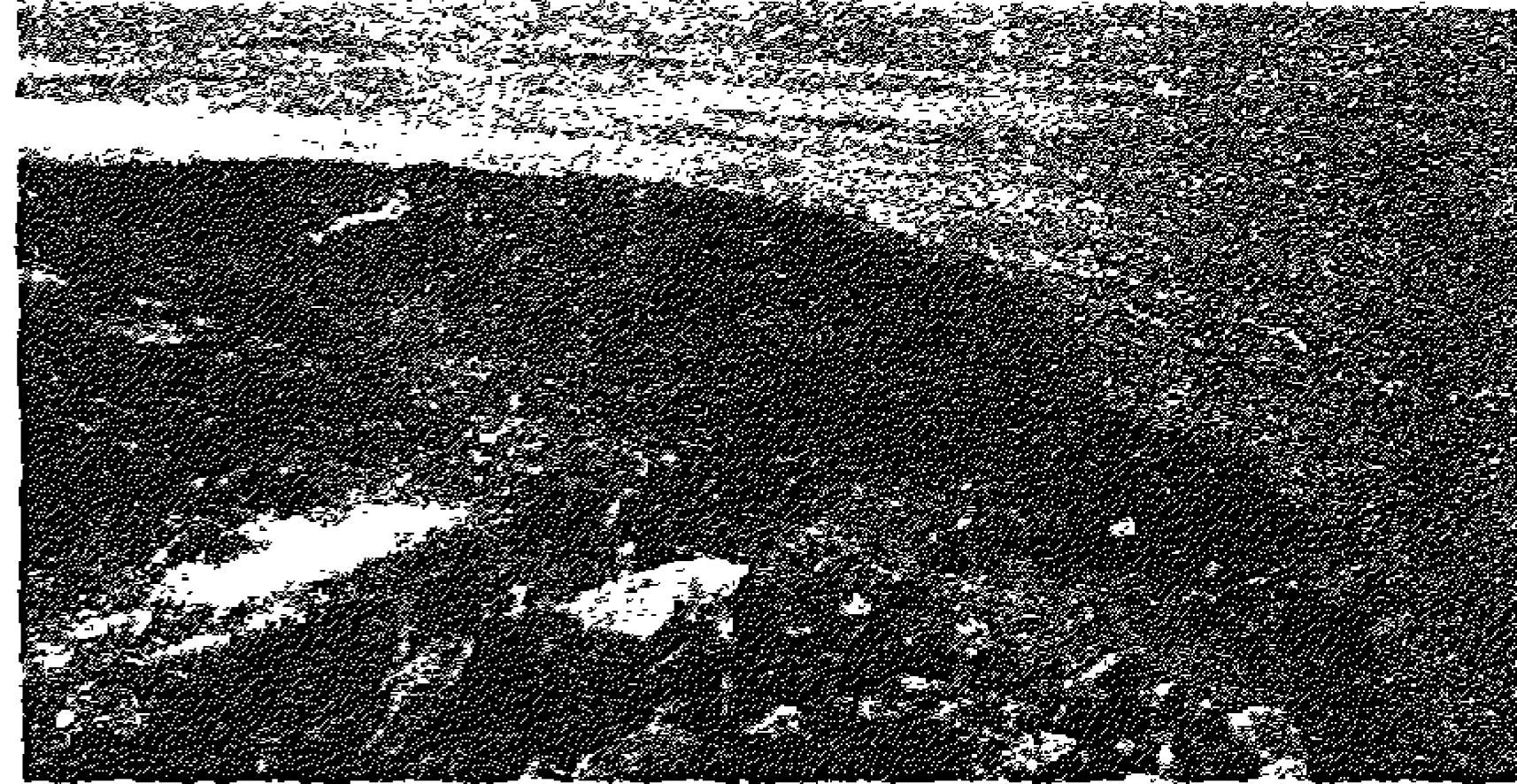
الشكل (٨-١٧) (أ) تحليل الدائرة السويدية لاستقرار المنحدر. فتوضع البوصلة في مركز الدوران، ثم يتأرجح القوس بالقرب من سطح الأساس. وتساعد حسابات القوى الطاردة والقوى المقاومة على تحديد استقرار المنحدر. (ب) انزلاق دوراني ذو حركة حول محور الدوران. لاحظ ميل الرأس إلى الخلف مع بروز القدم إلى الأمام.



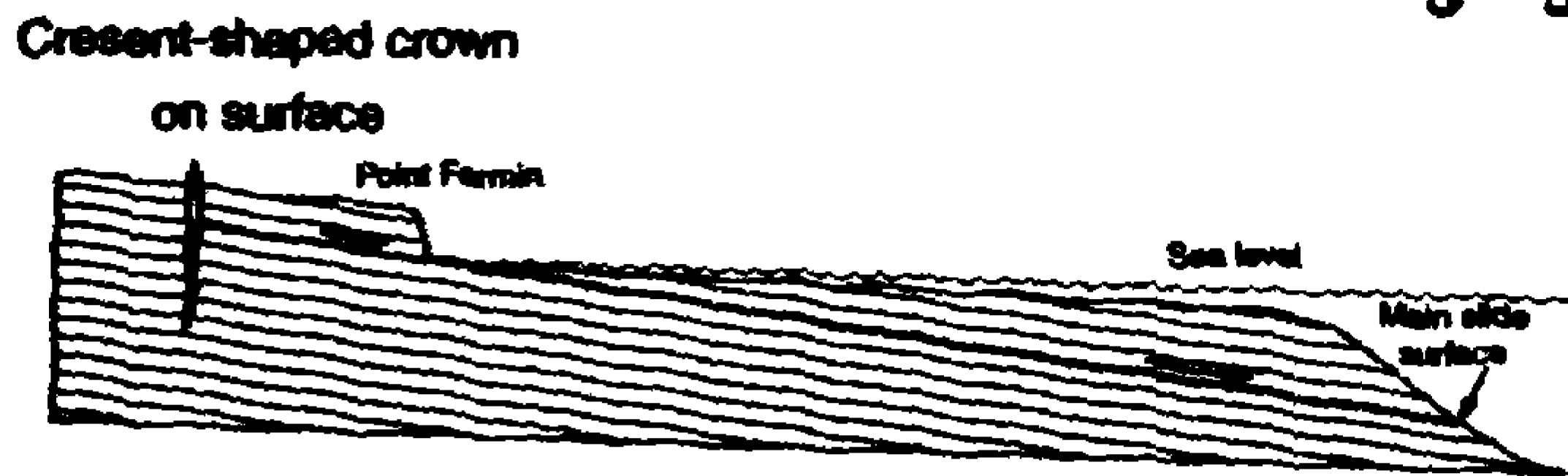
الشكل (٨-١٨) جزء من رأس المنحدر الشديد في انزلاق دوراني في ١٩٧٦ في إينسينادا في باجا كاليفورنيا. والفرع الموضح هو مجموع الحركة لعدة أسابيع. قتل شخصان في هذا المنزل عندما مزقت الأرض المتحركة خط أنابيب الغاز الطبيعي فاختنقا ليلا.



الشكل (٨-١٩) المنظر شمالاً على جانب انزلاق إينسينادا. لاحظ انتقال الطريق الرئيسي رقم ١ بالمكسيك نحو البحر.



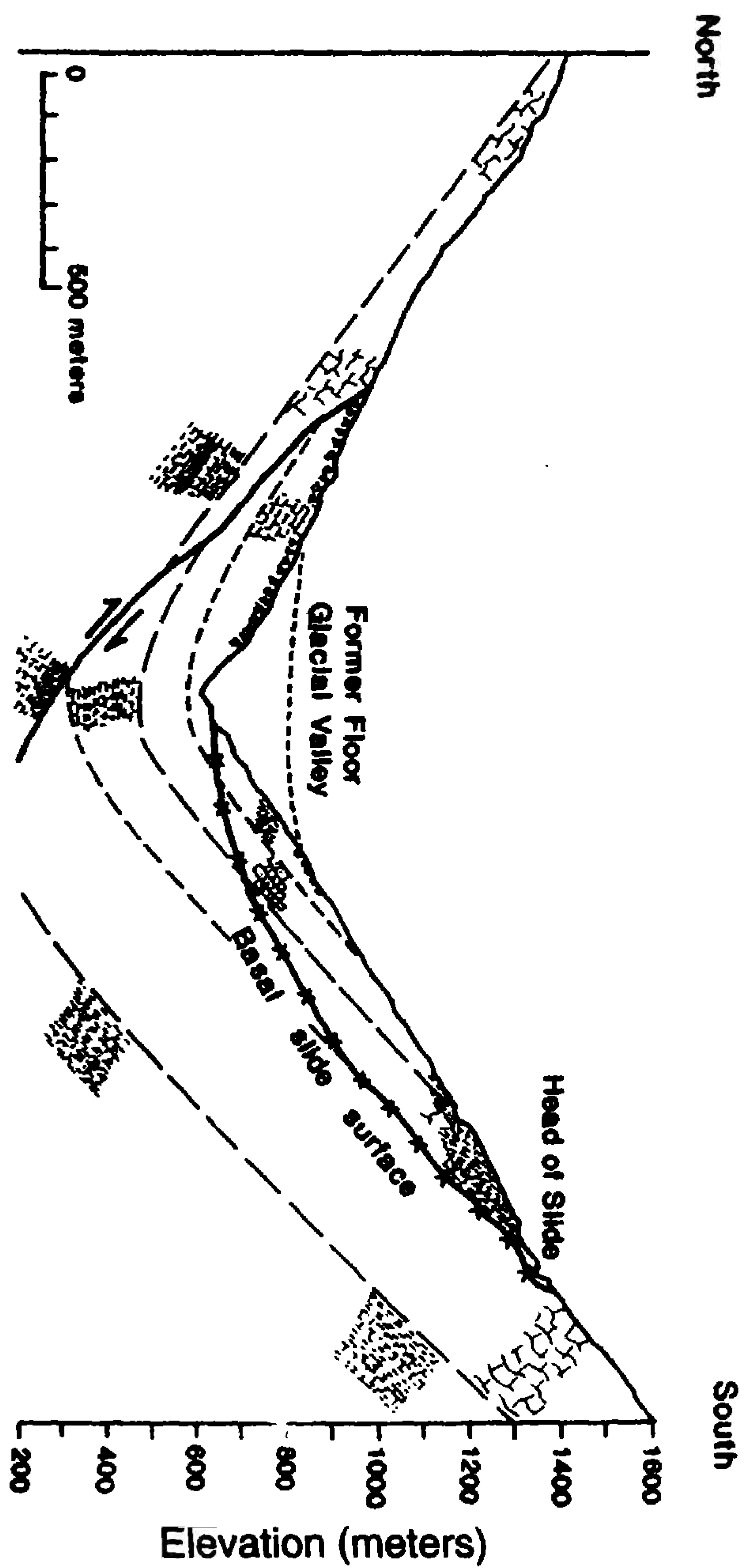
الشكل (٨-٢٠) قدم انزلاق إينسينادا. ارتفع قاع المحيط فوق مستوى سطح البحر بمقدار انبعاج القدم إلى أعلى.



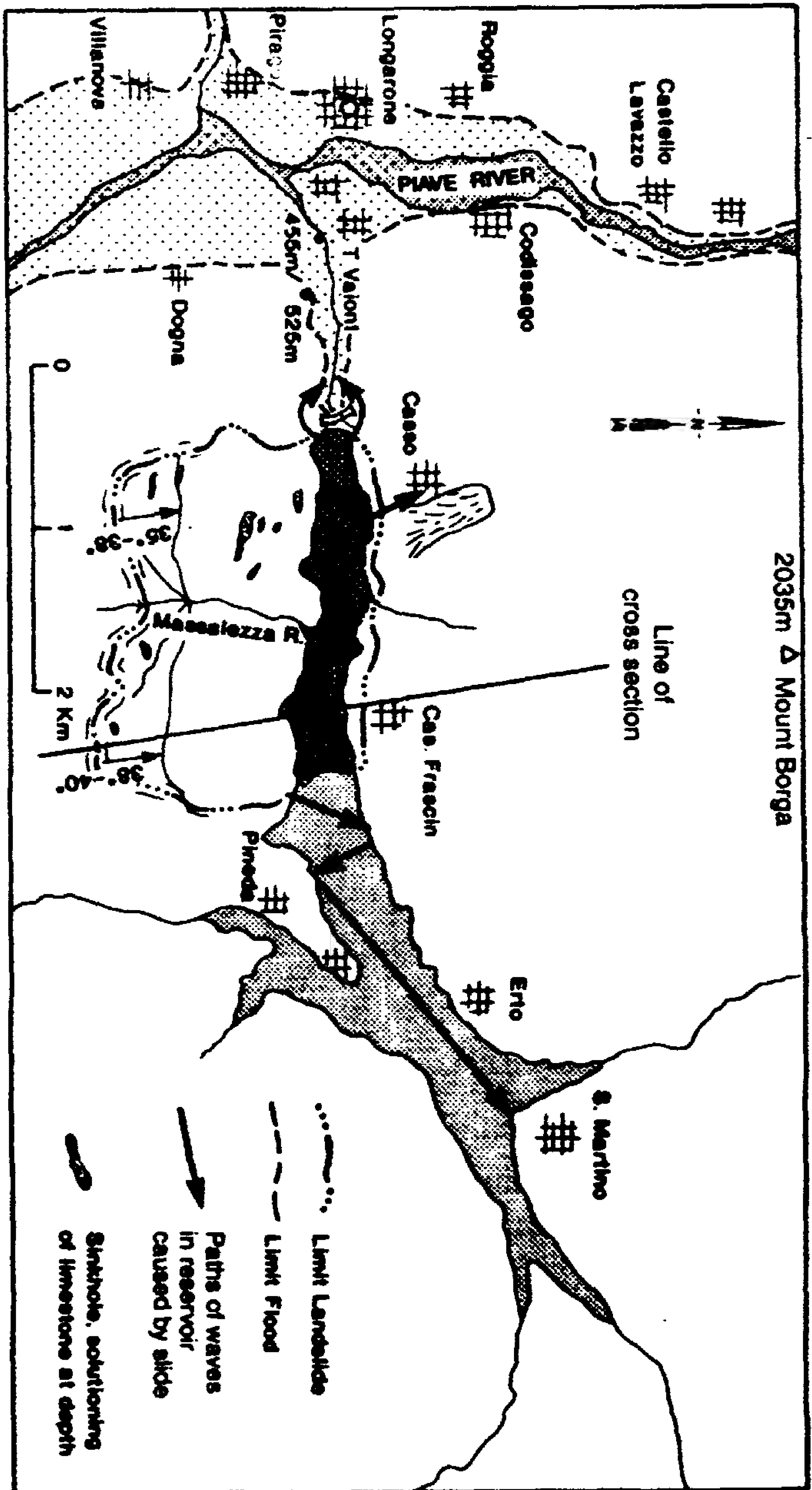
الشكل (٨-٢١) قطاع مقطعى فى بوينت فيرمين يوضح انزلاق كتلة من فوق طبقة صلصالية زلقة منحدره. والحركة فى اتجاه المنحدر غير المدعم (المسنود) الواقع قبالة الشاطئ.



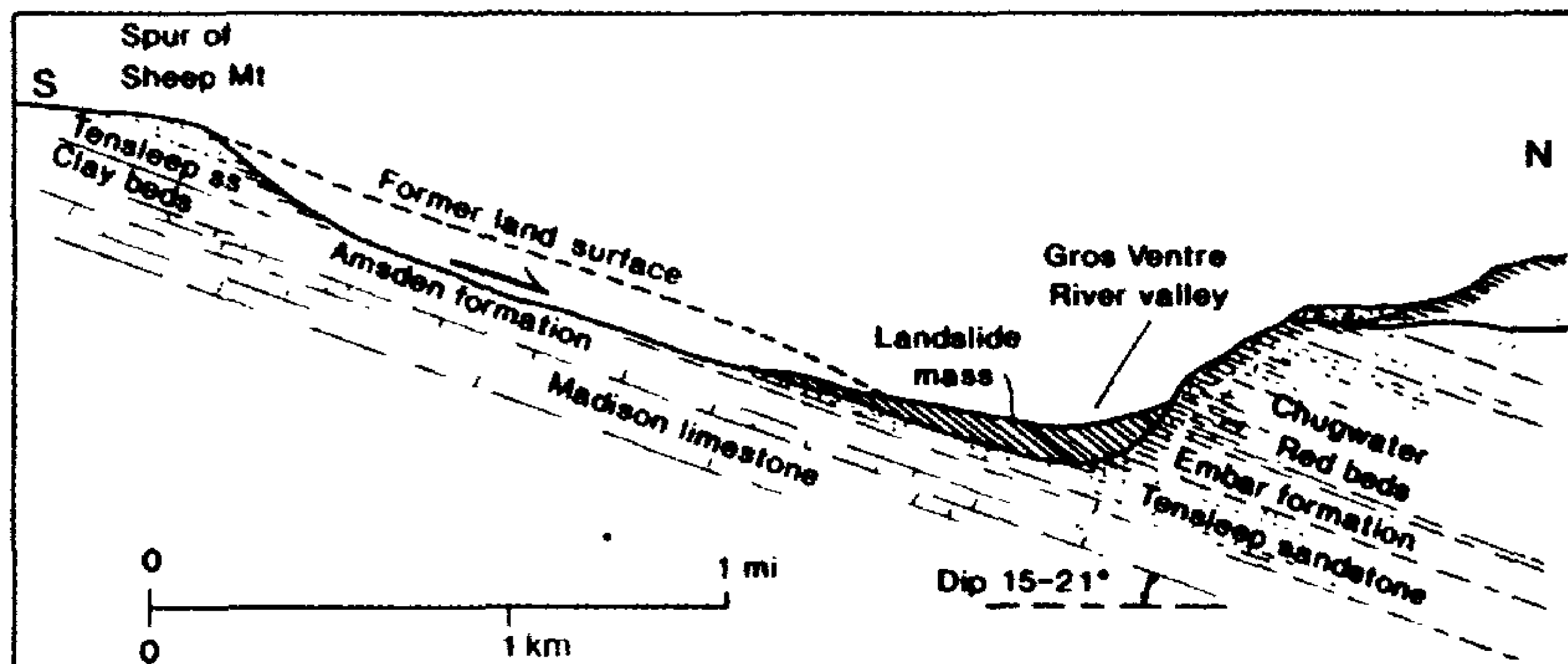
الشكل (٢٢-٨) منظر لرأس الانزلاق التحويلي في بوييت فيرمين. لاحظ ألواح الأساس للمنازل المدمرة. وتوجد سان بيدرو في خلفية الصورة.



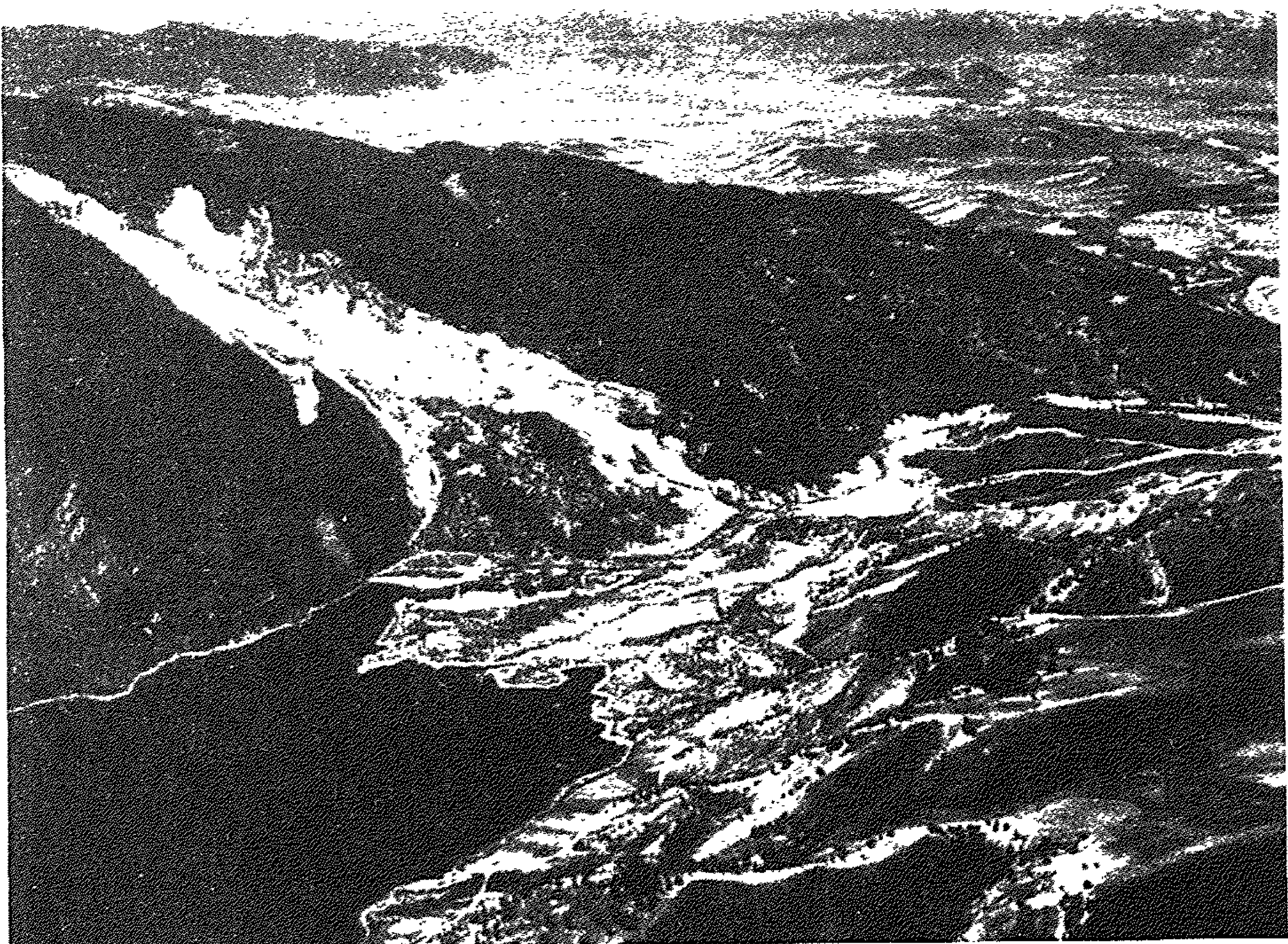
الشكل (٧٢-٨) قطاع مقطعي شمالي جنوبي على خزان فايونت. تحرك المنحدر فوق سطوح الكسر الموازية لقطاع الوادي الجليدي السابق. ويوضح الشكل ٨-٢٤ موقع هذا القطاع المقطعي.



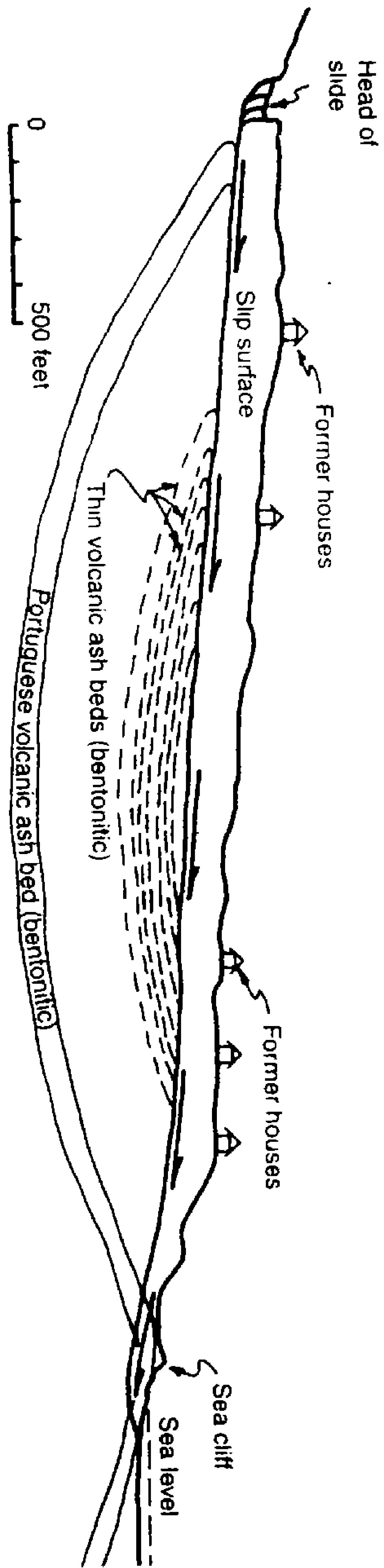
الشكل (٧٤-٨) خريطة منطقة خزان فايونت توضع أوضاع الكتل المنزلقة والمدن المتضررة من الفيضان الكارثي.



الشكل (٢٥-٨) قطاع مقطعى على وادى نهر جروس فينتر توضح الانزلاق الأرضى فى عام ١٩٢٥. لاحظ طبقات الأساس من الحجر الرملى والحجر الجيرى والصلصال المائلة إلى الشمال. وقد انزلقت كتل صخرية مكشوفة تحويلىا فى الوادى.

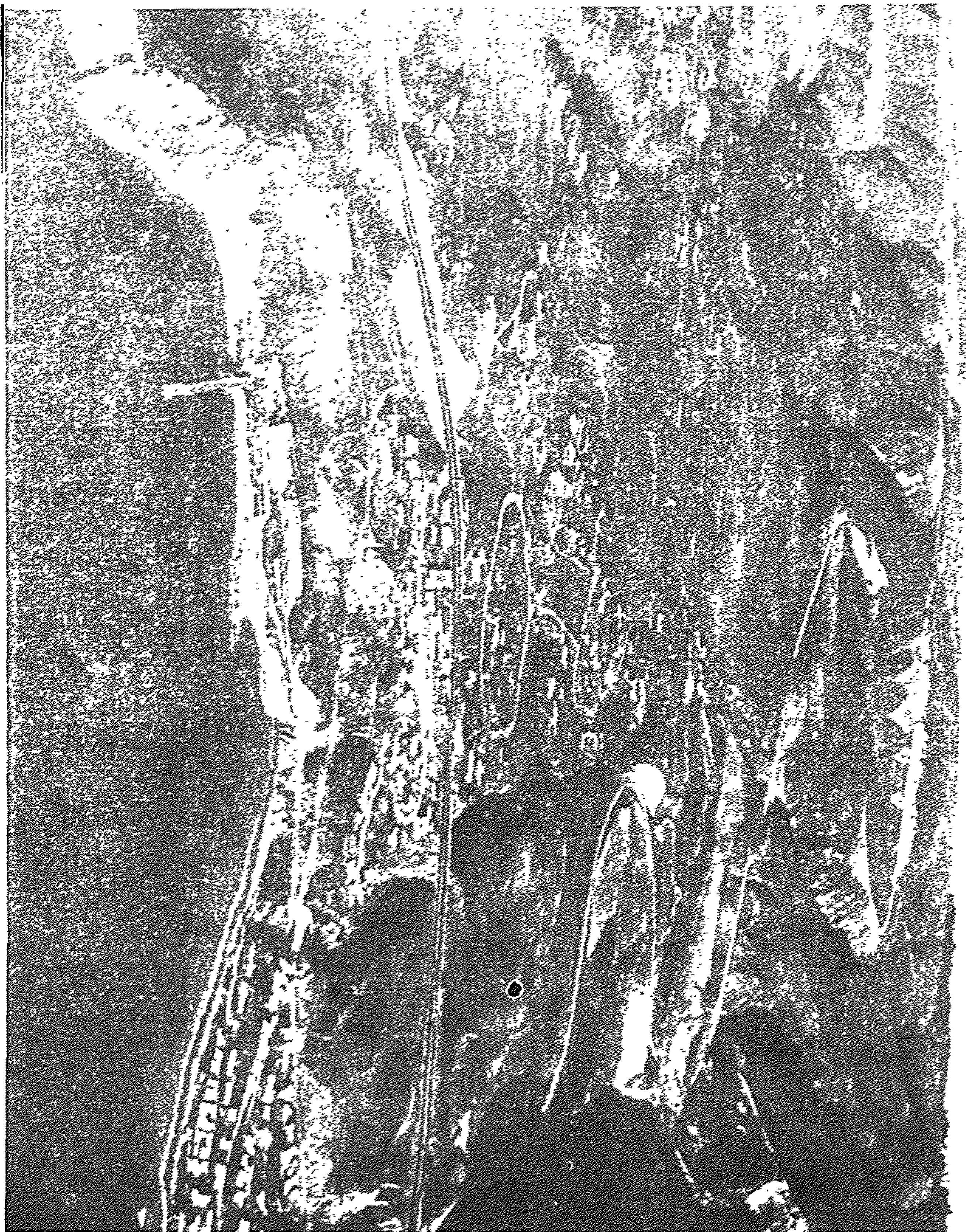


الشكل (٢٦-٨) منظر جنوبى غربى لانزلاق حطام جروس فينتر فوق كيلي فى يومينج.



الشكل (٢٧-٨) قطاع مقطعي في بورتوجيز بيند يوضح الأساسات المائلة نحو البحر وطبقات الصخور الغنية بصالحات رماد البراكين، وأمواج المحيط تحات قاعدة المنحدر وسطح المنحدر قبل الانزلاق.

الشكل (٢٨-٨) منظر لمنطقة بورتوجيز بيند في يوم ٥ مارس ١٩٥٨. لاحظ الالتواء في الرصيف الممتد في البحر.

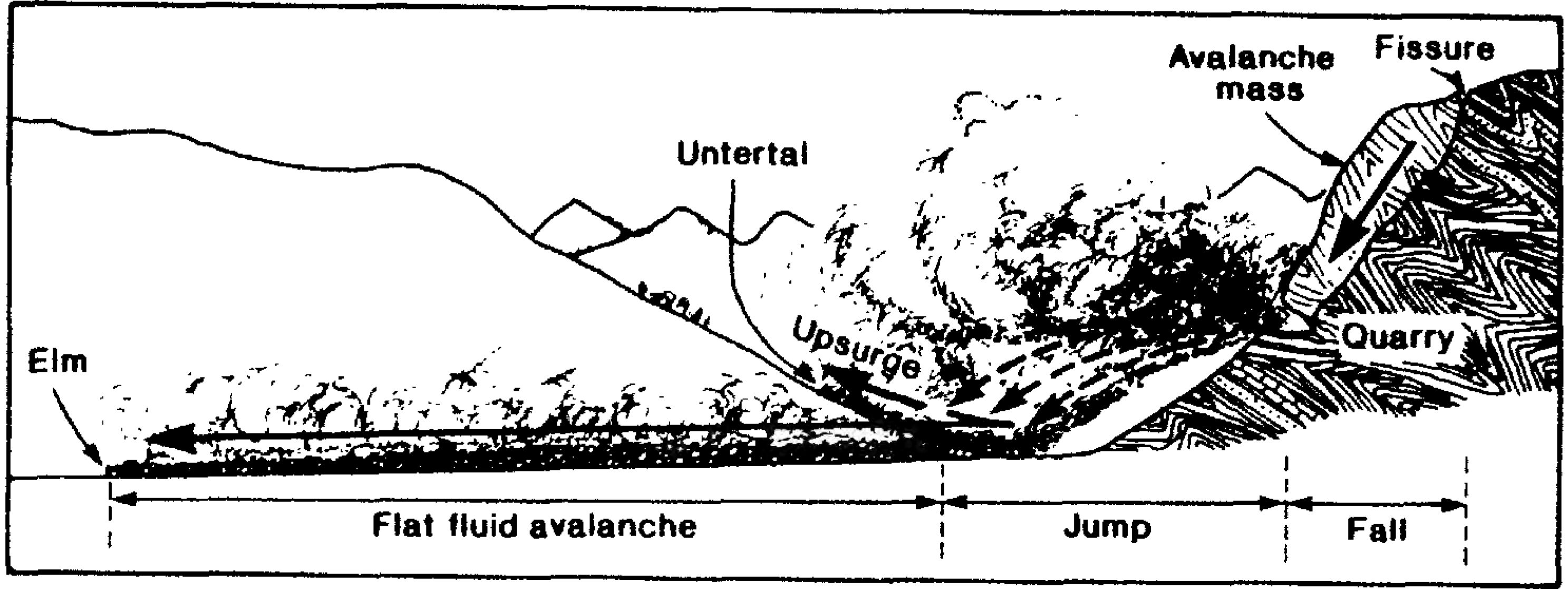




الشكل (٨-٢٩) منظر لبروز قدم تدفق بورتوجيز بيند في يوم ٢٤ نوفمبر ١٩٥٩. لاحظ أطلال المنازل والطرق والرصيف الخرب الممتد في البحر.



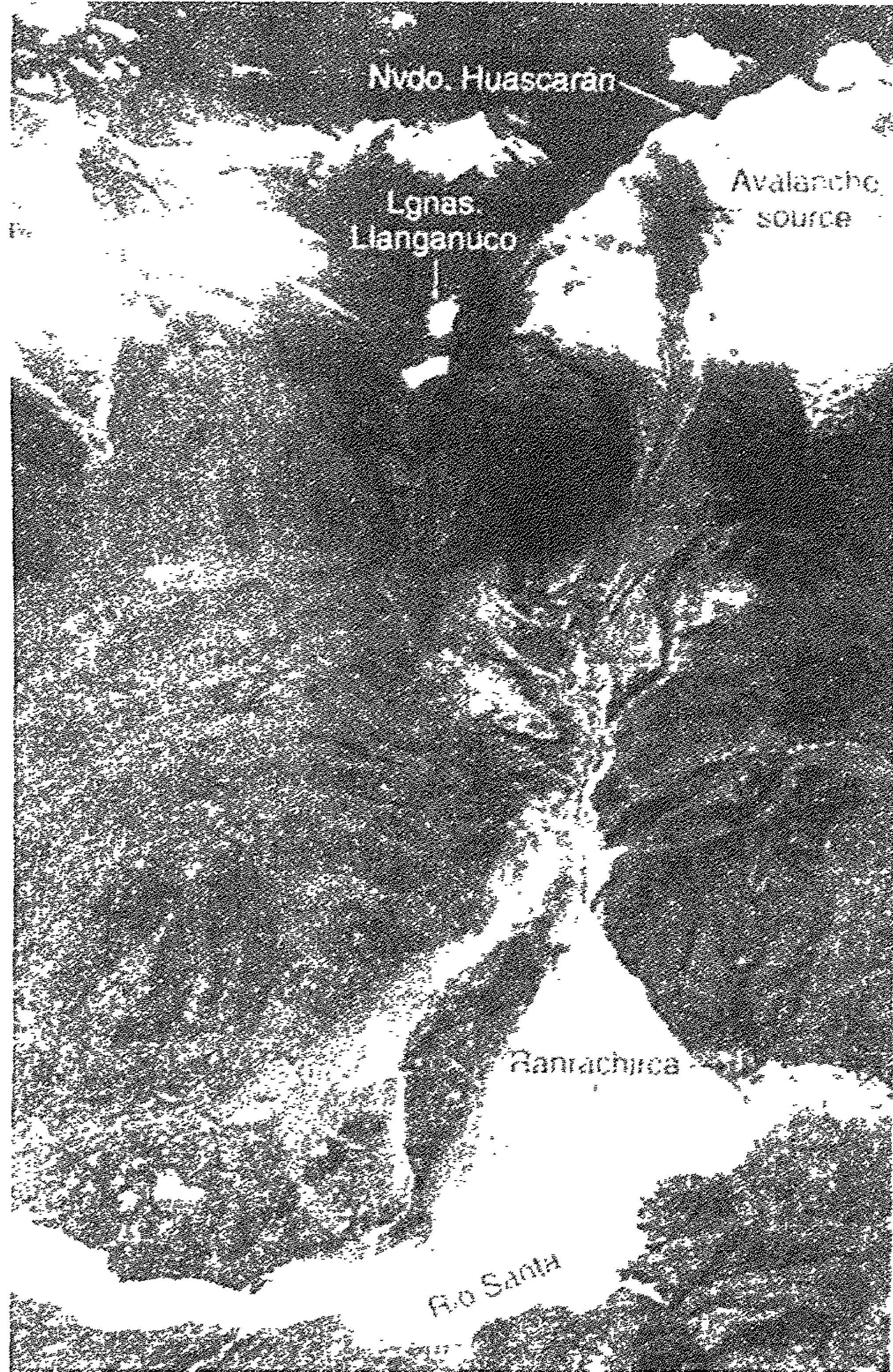
الشكل (٨-٣٠) منظر لتدفق حطام بلاكهوك الذي سقط من جبال سان بيرناردينو منذ ١٧٠٠٠ سنة وتدفق فوق سطح صحراء مोजافي.



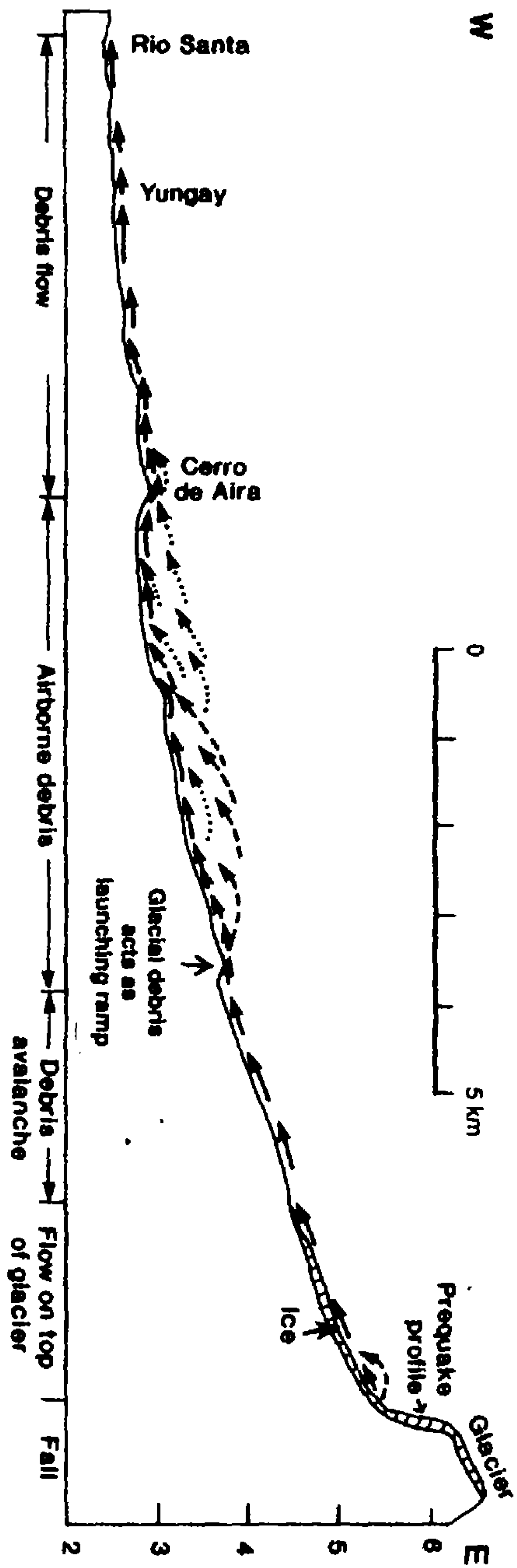
الشكل (٨-٣١) قطاع مقطعى لجلمود حطام إيلم فى سويسرا فى ١٨٨١. مسرحية ذات ثلاثة فصول: السقوط والقفز والاندفاع.



الشكل (٨-٣٢) سقطت كتلة من الصخر وزنها ٩٠ مليون طن وتحطمت وتدفقت من فوق جبل تيرتيل وعبرت وادى نهر أولدمان، وصعدت على الحائط المقابل للوادى فى ٢٩ أبريل ١٩٠٣. وقتل حوالى ٧٠ شخصا فى مدينة فرانك فى ولاية ألبريت فى كندا.



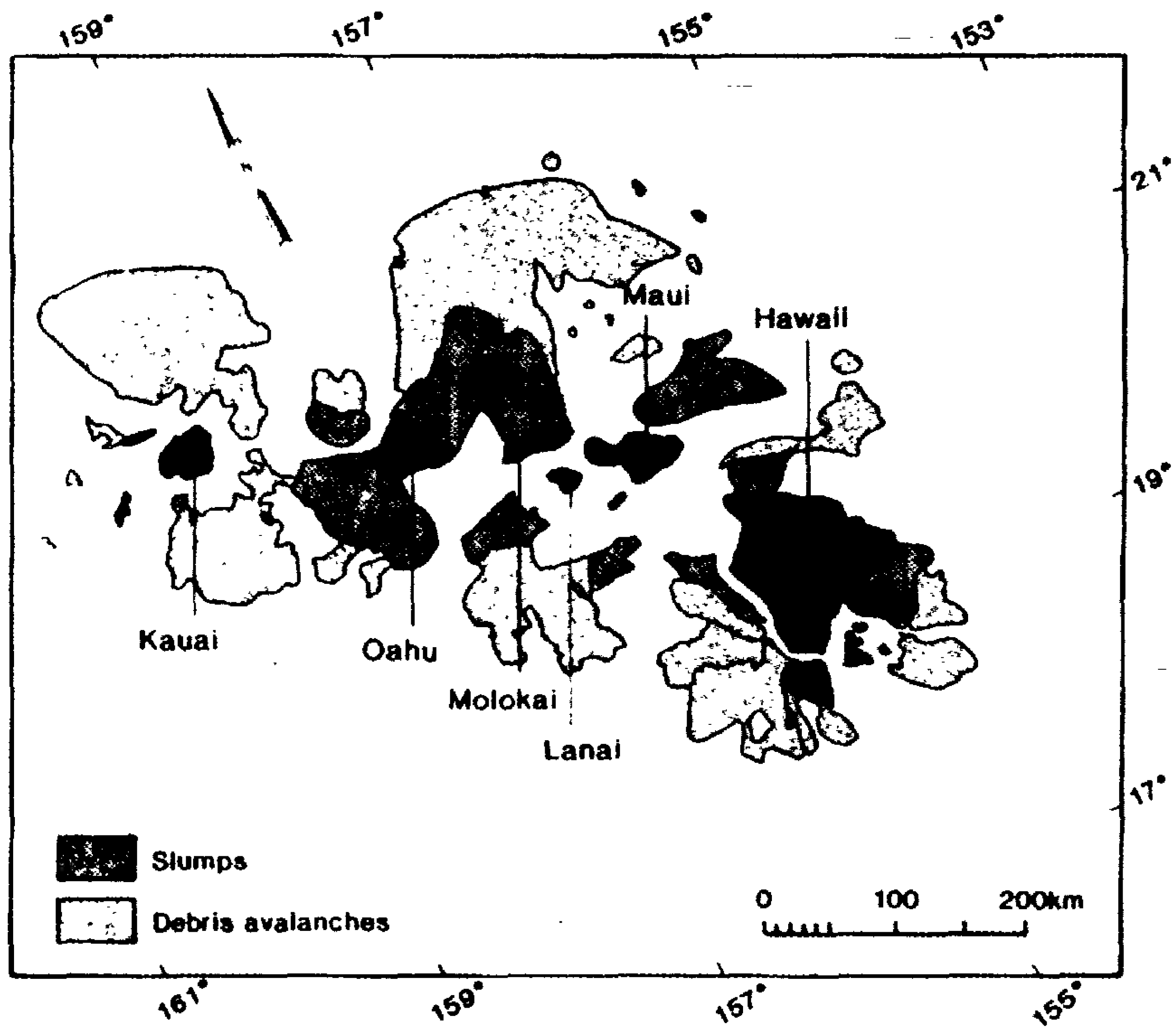
الشكل (٢٣-٨) صورة جوية لنيفادوس هواسكاران وجلمود الحطام في ١٩٧٠ الذي دفن ١٨٠٠٠ نسمة. حدث السقوط العمودي من القمة إلى ريو سانتا من ارتفاع ٤١٤٤ مترا (١٣٥٩٢ قدما) وسار مسافة أفقية قدرها ١٦ كم (١٠ أميال).



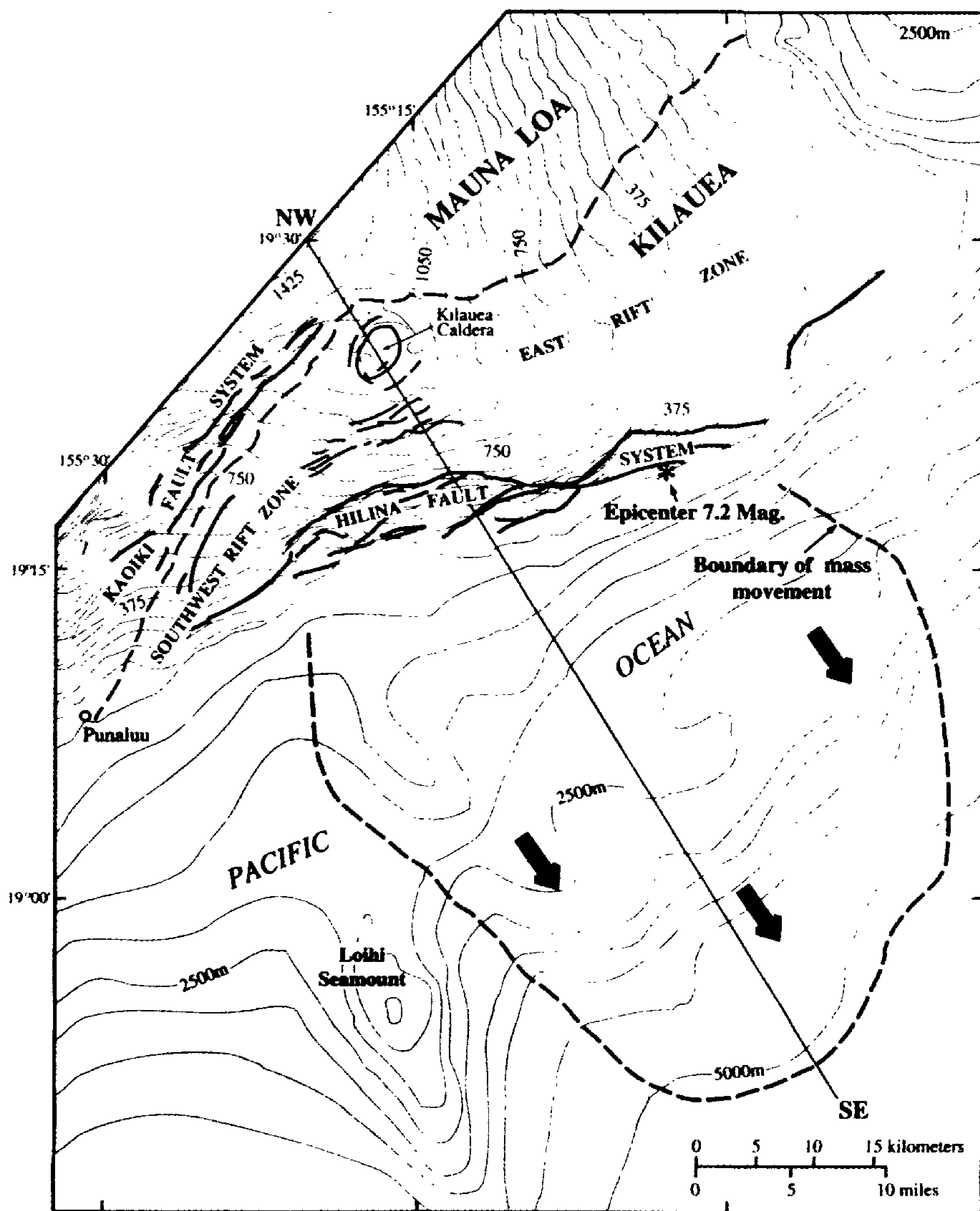
الشكل (٨-٣٤) قطاع مقطعي لجلود حطام نيفادوس هواسكاران في عام ١٩٧٠. وكانت العناصر الرئيسية هي السقوط العمودي المبني، والانطلاق في الهواء فوق تلال حطام الجبلدة وانشطار الجلود إلى فصين وتدفقه على شكل حطام مبلل؛ وجليد الحطام (الأسهم المستمرة)، والصخور المحمولة جوا (الأسهم المنقطعة).



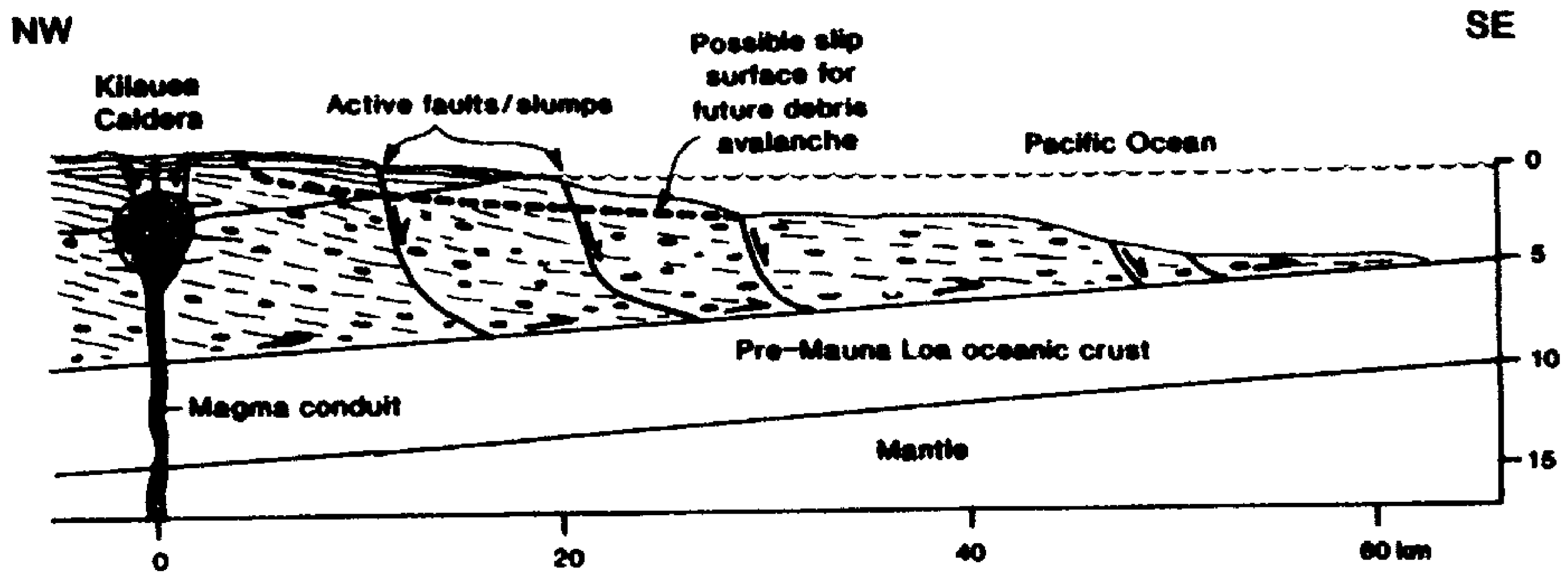
الشكل (٨-٣٥) المتزحلق على الجليد في أسفل التل حفز جلمودا جليديا.



الشكل (٨-٣٦) جزر هاواي (السوداء) تغطي مساحة أقل من الكتل المنهارة على سطح مقوس ولاميد الحطام التي سقطت منها.

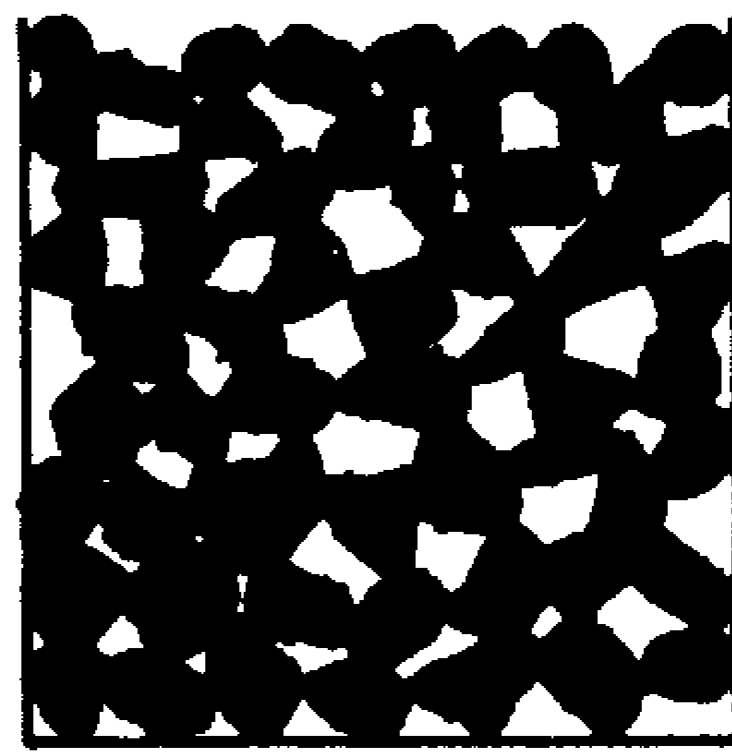


الشكل (٢٧-٨) خريطة منطقة كيلويا في هاواي توضح مخططا لانزلاق الكتلة في المحيط الهادي.



الشكل (٢٨-٨) قطاع مقطعي في الجزء الجنوبي الشرقي لكبرى جزر هاواي. وتسقط الكتل الضخمة حالياً فجأة على الصدوع العادية. وربما تكس جلاميد الحطام في المستقبل عدة أميال من الكتل الضخمة في المحيط الهادي.

(a) Sand grains (dark) and pore spaces (white)
filled with air, water, or oil



Loosely packed



Compacted

(b) Clay minerals (dark) and pore spaces (white)

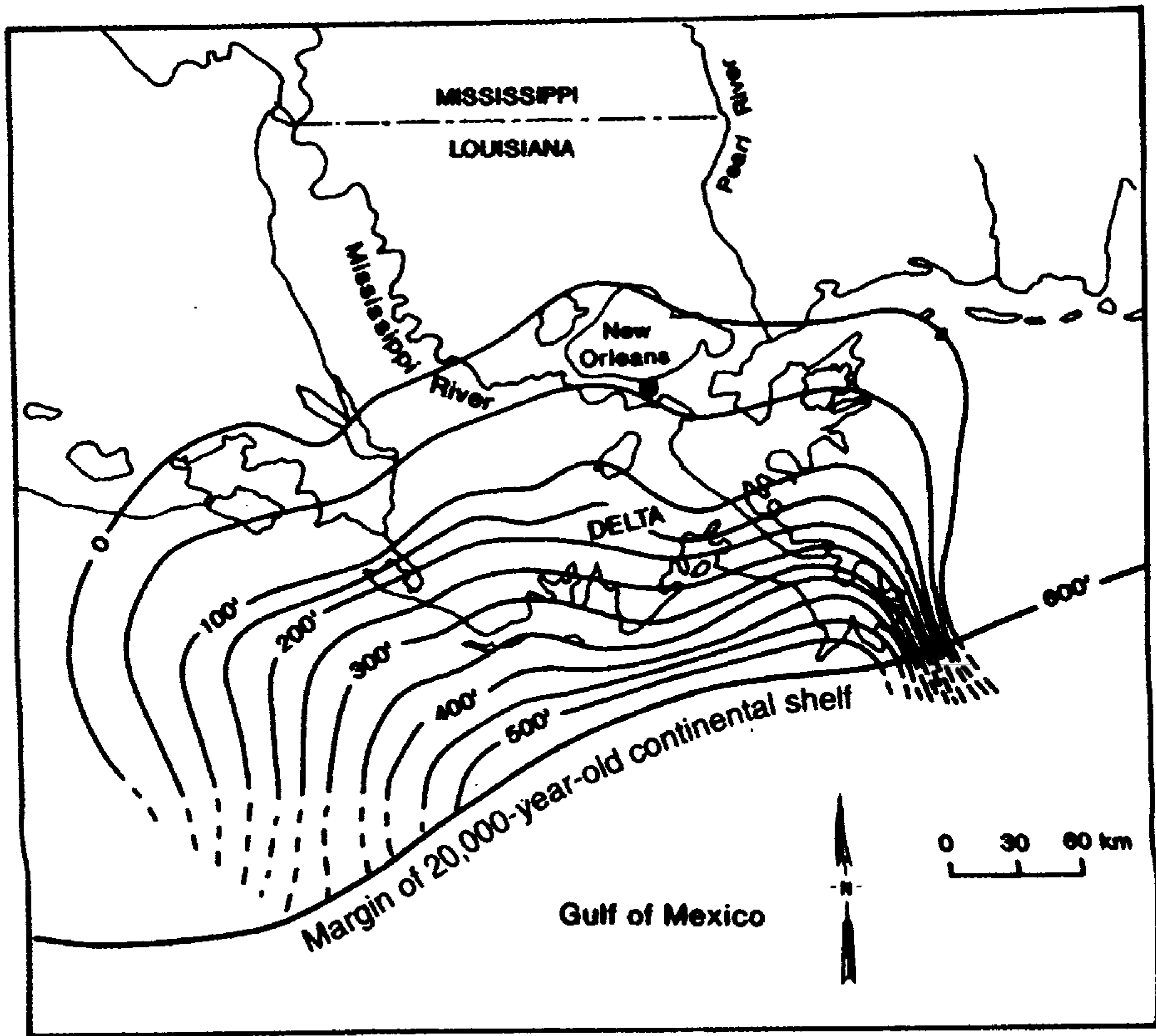


Loosely packed

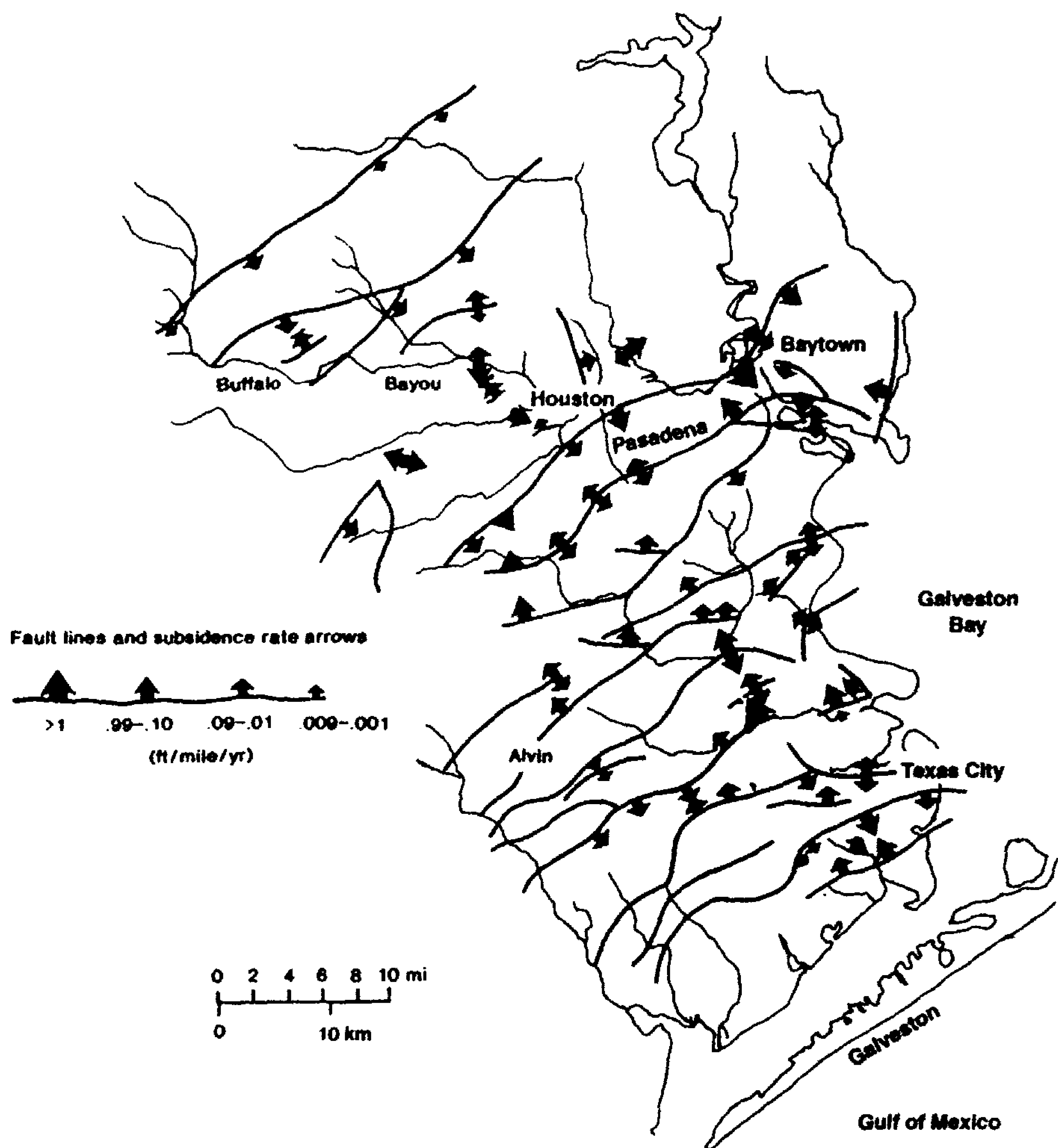


Compacted

الشكل (٣٩-٨) (أ) الرمل المعبأ حرّاً له خاصية كبيرة في المسامية (٢٥ حتى ٤٥٪). وعندما تنضغط الحبيبات إلى بعضها البعض وتزال السوائل يهبط سطح الأرض. (ب) ومعادن الصلصال المعبأة حرّاً لها خاصية أعلى في المسامية (٣٠ حتى ٨٠٪). وعندما تنضغط شرائح الصلصال إلى بعضها البعض وتزال السوائل يهبط سطح الأرض.



الشكل (٨-٤) الخسف (الهبوط) في منطقة دلتا نهر مسيسيبي في ٢٠٠٠٠ سنة الماضية. وخطوط الكنتورات مقدرة بالأقدام.



الشكل (٨-٤١) خريطة لبعض الصدوع النشطة في هوستون في تكساس، المنطقة والمقادير النسبية للخفض (الهبوط).



الشكل (٤٢-٨) منظر لبالوعة «ديسمبر العملاقة» التي تكونت بانتهيار الكهف الكبير من الحجر الجيري في يوم ٢ ديسمبر ١٩٧٢ في محافظة شلبى فى آلاباما . وقطر هذه البالوعة ١٣٠ مترا (٤٢٥ قدما) وعمقها ٤٦ مترا (١٥٠ قدما).



الشكل (٤٣-٨) صورة جوية لبالوعة وينتربارك في فلوريدا في يوم ١٠ مايو ١٩٨١: وقطرها ١٠٠ متر (أكثر من ٣٢٠ قدما) وعمقها ٣٤ مترا (١١٠ قدما). لاحظ حمام سباحة البلدية المنهار يقع في أسفل يسار الصورة.

جداول الفصل الثامن

الجدول (٨-١) معدلات السرعة في حركات الكتل

Extremely Rapid		
10 ft/sec (6 mph)	—————	3 m/sec
Very Rapid		
1 ft/minute	—————	0.3 m/min
Rapid		
5 ft/day	—————	1.5 m/day
Moderate		
5 ft/month	—————	1.5 m/month
Slow		
5 ft/year	—————	1.5 m/year
Very Slow		
1 ft / 5 years	—————	0.3 m / 5 years
Extremely Slow		

الجدول (٨-٢) بعض حركات الكتل الفتاكة

Year	Place	Fatalities
1499	Kienholz, Switzerland	400
1515	Blenio Valley, Switzerland	600
1556	Shaanxi Province, China	830,000
1569	Hofgastein and Schwaz, Austria	287
1584	Yvorne, Rhone Valley, France	328
1618	Mont Conto, Switzerland	2,430
1669	Salzburg, Austria	250
1741	Pennsylvania	22
1806	Goldau, Switzerland	457
1814	Boite Valley, Italy	300
1843	Mount Ida, Troy, New York	15
1881	Elm, Switzerland	115
1892	St. Gervais, France	177
1893	Trondheim, Norway	111
1903	Frank, Alberta, Canada	70
1920	Shaanxi Province, China	200,000
1936	Nordfjord, Norway	73
1938	Kobe, Japan	505
1945	Kure, Japan	1,154
1958	Shizuoka, Japan	1,094
1959	Hebgen Lake, Montana	28
1962	Nevados Huascarán, Peru	4,000
1963	Vaiont, Italy	3,000
1964	Anchorage, Alaska (plus an earthquake)	114
1966	Aberfan, Wales	144
1966-7	Rio de Janeiro area, Brazil	2,700
1969	Nelson Co., Virginia (plus floods)	150
1970	Nevados Huascarán, Peru (plus an earthquake)	70,000
1971	St. Jean-Vianney, Quebec	31
1985	Mameyes, Puerto Rico	129
1998	Campania, Italy	180
1998	Honduras and Nicaragua	10,000
1999	Venezuela	10,000

الجدول (٨-٣) بعض المدن الساحلية الهابطة

City	Maximum Subsidence (meters)	Area Affected (km ²)
Bangkok, Thailand	1	800
Houston, Texas	2.7	12,000
London, England	0.3	300
Long Beach, California	9	50
Nagoya, Japan	2.4	1,300
New Orleans, Louisiana	3	175
Niigata, Japan	2.5	8,300
Osaka, Japan	3	500
San Jose, California	3.9	800
Savannah, Georgia	0.2	35
Shanghai, China	2.7	120
Taipei, Taiwan	1.9	130
Tokyo, Japan	4.5	3,000
Venice, Italy	0.3	150

مراجع الفصل الثامن

نصوص ومراجع مقترحة

Suggested Readings and References

- Alden, W. C. (1928). Landslide and flood at Gros Ventre, Wyoming. *Transactions, American Institute of Mining and Metallurgical Engineers*, 76, 347–61.
- Armstrong, B. R., and Williams, K. (1992). *The Avalanche Book*. Armstrong, Colo.: Fulcrum Publishing.
- Close, U., and McCormick, E. (1922, May). Where the mountain walked. *National Geographic*, 41, 445–64.
- Hsu, K. J. (1989, January). Catastrophic debris streams (sturzstroms) generated by rockfalls. *Geological Society of America Bulletin*, 86, 129–40.
- Kerr, P. F. (1963). Quick clay. *Scientific American*, 209, 132–41.
- Kiersch, G. A. (1964, March). Vaiont reservoir disaster. *Civil Engineering*, 32–39.
- Matthes, G. H. (1953). Quicksand. *Scientific American*, 188, 97–102.
- Melosh, H. J. (1983, March–April). Acoustic fluidization. *American Scientist*, 71, 158–65.
- Miller, W. J. (1931). The landslide at Point Fermin, California. *Scientific Monthly*, 32, 464–69.
- Moore, J. G., Clague, D. A., Holcomb, R. T., Lipman, P. W., Normark, W. R., and Torresan, M. E. (1989). Prodigious submarine landslides on the Hawaiian ridge. *Journal of Geophysical Research*, B12, 94, 465–84.
- Nilsen, I. H., and Brabb, E. E. (1975). Landslides. In R. D. Borcherdt (Ed.), *Studies for seismic zonation of the San Francisco Bay region*. U.S. Geological Survey Professional Paper 941A.
- Plafker, G., and Ericksen, G. E. (1978). Nevados Huascarán avalanches, Peru. Chapter 8. In B. Voight (Ed.), *Rockslides and Avalanches*. Amsterdam: Elsevier Scientific.
- Schumm, S. A., and Chorley, R. J. (1964, November). The fall of threatening rock. *American Journal of Science*, 262, 1041–54.
- Schuster, R. L., and Fleming, R. W. (1986). Economic losses and fatalities due to landslides. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 23, 11–28.
- Shreve, R. L. (1968). *The Blackhawk landslide*. Geological Society of America Special Paper 108.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. In R. L. Schuster and R. J. Krizek, (Eds.), *Landslides, Analysis and Control* (Chap. 2). Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- Williams, G. P., and Guy, H. P. (1973). *Erosional and depositional aspects of hurricane Camille in Virginia, 1969*. U.S. Geological Survey Professional Paper 804.

الفيديو

Videos

- The Runaway Mountain. (1995). Horizons/Pioneer Productions/BBC (50 min.).
- The Rissa, Norway Landslide. (1981). Norwegian Geotechnical Institute (24 min.).
- Debris-Flow Dynamics. (1984). U.S. Geological Survey (23 min.).
- Landslide: Gravity Kills. (1999). Discovery Channel (52 min.).
- Raging Planet: Avalanche. (1997). Discovery Channel (50 min.).

المشروع القومى للترجمة

المشروع القومى للترجمة مشروع تنمية ثقافية بالدرجة الأولى ، ينطلق من الإيجابيات التى حققتها مشروعات الترجمة التى سبقته فى مصر والعالم العربى ويسعى إلى الإضافة بما يفتح الأفق على وعود المستقبل، معتمداً المبادئ التالية :

- ١- الخروج من أسر المركزية الأوروبية وهيمنة اللغتين الإنجليزية والفرنسية .
- ٢- التوازن بين المعارف الإنسانية فى المجالات العلمية والفنية والفكرية والإبداعية .
- ٣- الانحياز إلى كل ما يؤسس لأفكار التقدم وحضور العلم وإشاعة العقلانية والتشجيع على التجريب .
- ٤- ترجمة الأصول المعرفية التى أصبحت أقرب إلى الإطار المرجعى فى الثقافة الإنسانية المعاصرة، جنباً إلى جنب المنجزات الجديدة التى تضع القارئ فى القلب من حركة الإبداع والفكر العالميين .
- ٥- العمل على إعداد جيل جديد من المترجمين المتخصصين عن طريق ورش العمل بالتنسيق مع لجنة الترجمة بالمجلس الأعلى للثقافة .
- ٦- الاستعانة بكل الخبرات العربية وتنسيق الجهود مع المؤسسات المعنية بالترجمة .

المشروع القومى للترجمة

١- اللغة العليا	جون كوين	أحمد درويش
٢- الوثنية والإسلام (ط١)	ك. مادهو بانيكار	أحمد فؤاد بليغ
٣- التراث المسروق	جورج جيمس	شوقي جلال
٤- كيف تتم كتابة السيناريو	انجا كاريتنيكوف	أحمد الحضرى
٥- ثريا فى غيبوبة	إسماعيل فصيح	محمد علاء الدين منصور
٦- اتجاهات البحث اللسانى	ميلكا إقيتش	سعد مصلوح ووفاء كامل فايد
٧- العلوم الإنسانية والفلسفة	لوسيان غولدمان	يوسف الأنطكى
٨- مشعلو الحرائق	ماكس فريش	مصطفى ماهر
٩- التغيرات البيئية	أندرو. س. جودى	محمود محمد عاشور
١٠- خطاب الحكاية	جيرار چينيت	محمد معتصم وعبد الجليل الأزدي وعمر حلى
١١- مختارات شعرية	فيسوافا شيمبوريسكا	هنا عبد الفتاح
١٢- طريق الحرير	ديفيد براونيستون وأيرين فرانك	أحمد محمود
١٣- ديانة الساميين	روبرتسن سميث	عبد الوهاب علوب
١٤- التحليل النفسى للأدب	جان بيلمان نويل	حسن المودن
١٥- الحركات الفنية منذ ١٩٤٥	إدوارد لوسى سميث	أشرف رفيق عفيفى
١٦- أثينة السوداء (ج١)	مارتن برنال	بإشراف: أحمد عثمان
١٧- مختارات شعرية	فيليب لاركين	محمد مصطفى بدوى
١٨- الشعر النسائى فى أمريكا اللاتينية	مختارات	طلعت شاهين
١٩- الأعمال الشعرية الكاملة	جورج سفيريس	نعيم عطية
٢٠- قصة العلم	ج. ج. كراوثر	يمنى طريف الخولى وبنى عبد الفتاح
٢١- خوخة وألف خوخة وقصص أخرى	صمد بهرنجى	ماجدة العنانى
٢٢- مذكرات رحالة عن المصريين	جون أنتيس	سيد أحمد على الناصرى
٢٣- تجلى الجميل	هانز جيورج جادامر	سعيد توفيق
٢٤- ظلال المستقبل	باتريك بارندر	بكر عباس
٢٥- مثنوى	مولانا جلال الدين الرومى	إبراهيم الدسوقي شتا
٢٦- دين مصر العام	محمد حسين هيكل	أحمد محمد حسين هيكل
٢٧- التنوع البشرى الخلاق	مجموعة من المؤلفين	بإشراف: جابر عصفور
٢٨- رسالة فى التسامح	جون لوك	منى أبو سنة
٢٩- الموت والوجود	جيمس ب. كارس	بدر الديب
٣٠- الوثنية والإسلام (ط٢)	ك. مادهو بانيكار	أحمد فؤاد بليغ
٣١- مصادر دراسة التاريخ الإسلامى	جان سوفاجيه - كلود كاين	عبد الستار الحلوجى وعبد الوهاب علوب
٣٢- الانقراض	ديفيد روب	مصطفى إبراهيم فهمى
٣٣- التاريخ الاقتصادى لأفريقيا الغربية	أ. ج. هوبكنز	أحمد فؤاد بليغ
٣٤- الرواية العربية	روجر آلن	حصه إبراهيم المنيف
٣٥- الأسطورة والحدائق	بول ب. ديكسون	خليل كلفت
٣٦- نظريات السرد الحديثة	والاس مارتن	حياة جاسم محمد

٣٧-	واحة سيوة وموسيقاها	بريجيت شيفر	جمال عبد الرحيم
٣٨-	نقد الحداثة	ألن تورين	أنور مغيث
٣٩-	الحسد والإغريق	بيتر والكوت	منيرة كروان
٤٠-	قصائد حب	أن سكستون	محمد عيد إبراهيم
٤١-	ما بعد المركزية الأوروبية	بيتر جران	عاطف أحمد وإبراهيم فتحى ومحمود ماجد
٤٢-	عالم ماك	بنجامين باربر	أحمد محمود
٤٣-	اللهب المزبوج	أوكتافيو پاث	المهدى أخريف
٤٤-	بعد عدة أصياف	ألدوس هكسلى	مارلين تادرس
٤٥-	التراث المغفور	روبرت ديننا وجون فاين	أحمد محمود
٤٦-	عشرون قصيدة حب	بابلو نيرودا	محمود السيد على
٤٧-	تاريخ النقد الأدبى الحديث (ج١)	رينيه ويليك	مجاهد عبد المنعم مجاهد
٤٨-	حضارة مصر الفرعونية	فرانسوا دوما	ماهر جويجاتى
٤٩-	الإسلام فى البلقان	ه . ت . نوريس	عبد الوهاب علوب
٥٠-	ألف ليلة وليلة أو القول الأسير	جمال الدين بن الشيخ	محمد برادة وعثمانى الميلود ويوسف الأنطكى
٥١-	مسار الرواية الإسبانية أمريكية	داريو بيانوبيا وخ . م . بينياليستى	محمد أبو العطا
٥٢-	العلاج النفسى التدعيمى	ب . نوفاليس وس . روجسيفيتز ووجر بيل	لطفى قطيم وعادل دمرداش
٥٣-	الدراما والتعليم	أ . ف . ألنجاتون	مرسى سعد الدين
٥٤-	المفهوم الإغريقى للمسرح	ج . مايكل والتون	محسن مصيلحى
٥٥-	ما وراء العلم	جون بولكنجهوم	على يوسف على
٥٦-	الأعمال الشعرية الكاملة (ج١)	فديريكو غرسية لوركا	محمود على مكى
٥٧-	الأعمال الشعرية الكاملة (ج٢)	فديريكو غرسية لوركا	محمود السيد و ماهر البطوطى
٥٨-	مسرحيتان	فديريكو غرسية لوركا	محمد أبو العطا
٥٩-	المحبرة (مسرحية)	كارلوس مونيث	السيد السيد سهيم
٦٠-	التصميم والشكل	جوهانز إيتن	صبرى محمد عبد الغنى
٦١-	موسوعة علم الإنسان	شارلوت سيمور - سميث	بإشراف : محمد الجوهري
٦٢-	لذة النص	رولان بارت	محمد خير البقاعى
٦٣-	تاريخ النقد الأدبى الحديث (ج٢)	رينيه ويليك	مجاهد عبد المنعم مجاهد
٦٤-	برتراند راسل (سيرة حياة)	ألان وود	رمسيس عوض
٦٥-	فى مدح الكسل ومقالات أخرى	برتراند راسل	رمسيس عوض
٦٦-	خمسة مسرحيات أندلسية	أنطونيو جالا	عبد اللطيف عبد الحليم
٦٧-	مختارات شعرية	فرناندو بيسوا	المهدى أخريف
٦٨-	نتاشا العجوز وقصص أخرى	فالتين راسبوتين	أشرف الصباغ
٦٩-	العالم الإسلامى فى أولئ القرن العشرين	عبد الرشيد إبراهيم	أحمد فؤاد متولى وهويدا محمد فهمى
٧٠-	ثقافة وحضارة أمريكا اللاتينية	أوخينيو تشانج رودريجت	عبد الحميد غلاب وأحمد حشاد
٧١-	السيدة لا تصلح إلا للرمى	داريو فو	حسين محمود
٧٢-	السياسى العجوز	ت . س . إليوت	فؤاد مجلى
٧٣-	نقد استجابة القارئ	چين ب . تومبكنز	حسن ناظم وعلى حاكم
٧٤-	صلاح الدين والمماليك فى مصر	ل . ا . سيمينوفا	حسن بيومى

أحمد درويش	أندريه موروا	فن التراجم والسير الذاتية	٧٥-
عبد المقصود عبد الكريم	مجموعة من المؤلفين	چاك لاكان وإغواء التحليل النفسى	٧٦-
مجاهد عبد المنعم مجاهد	رينيه ويليك	تاريخ النقد الألبى الحديث (ج٢)	٧٧-
أحمد محمود ونورا أمين	رونالد روبرتسون	العولمة . النظرية الاجتماعية والثقافة الكونية	٧٨-
سعيد الغانمى وناصر حلاوى	بوريس أوسبىنسكى	شعرية التأليف	٧٩-
مكارم الغمرى	ألكسندر بوشكين	بوشكين عند «نافورة الدموع»	٨٠-
محمد طارق الشرقاوى	بندكت أندرسن	الجماعات المتخيلة	٨١-
محمود السيد على	ميجيل دى أونامونو	مسرح ميجيل	٨٢-
خالد المعالى	غوتفريد بن	مختارات شعرية	٨٣-
عبد الحميد شيحة	مجموعة من المؤلفين	موسوعة الأدب والنقد (ج١)	٨٤-
عبد الرازق بركات	صلاح زكى أقطاى	منصور الحلاج (مسرحية)	٨٥-
أحمد فتحى يوسف شتا	جمال مير صادقى	طول الليل (رواية)	٨٦-
ماجدة العنانى	جلال آل أحمد	نون والقلم (رواية)	٨٧-
إبراهيم الدسوقى شتا	جلال آل أحمد	الابتلاء بالتغرب	٨٨-
أحمد زايد ومحمد محيى الدين	أنتونى جيدنز	الطريق الثالث	٨٩-
محمد إبراهيم مبروك	بورخيس وأخرون	وسم السيف وقصص أخرى	٩٠-
محمد هناء عبد الفتاح	باربرا لاسوتسكا - بشونباك	المسرح والتجريب بين النظرية والتطبيق	٩١-
نادية جمال الدين	كارلوس ميجيل	أساليب ومضامين المسرح الإيبانوأمرى المعاصر	٩٢-
عبد الوهاب علوب	مايك فيذرستون وسكوت لاش	محدثات العولمة	٩٣-
فوزية العشماوى	صمويل بيكيت	مسرحيتا الحب الأول والصحة	٩٤-
سرى محمد عبد اللطيف	أنطونيو بويرو بايخو	مختارات من المسرح الإيبانى	٩٥-
إبوار الخراط	نخبة	ثلاث زنبقات ووردة وقصص أخرى	٩٦-
بشير السباعى	فرنان برودل	هوية فرنسا (مج١)	٩٧-
أشرف الصباغ	مجموعة من المؤلفين	الهم الإنسانى والابتزاز الصهيونى	٩٨-
إبراهيم قنديل	ديفيد روبنسون	تاريخ السينما العالمية (١٨٩٥-١٩٨٠)	٩٩-
إبراهيم فتحى	بول هيرست وجراهام تومبسون	مساءلة العولمة	١٠٠-
رشيد بنحو	بيرنار فاليط	النص الروائى: تقنيات ومناهج	١٠١-
عز الدين الكتانى الإدريسى	عبد الكبير الخطيبى	السياسة والتسامح	١٠٢-
محمد بنيس	عبد الوهاب المؤدب	قبر ابن عربى يليه آباء (شعر)	١٠٣-
عبد الغفار مكاوى	برتولت بريشت	أوبرا ماهوجنى (مسرحية)	١٠٤-
عبد العزيز شبيل	جيرارچينيت	مدخل إلى النص الجامع	١٠٥-
أشرف على دعور	ماريا خيسوس روبيرامتى	الأدب الأندلسى	١٠٦-
محمد عبد الله الجعيدى	نخبة من الشعراء	مسيرة الفنان فى الشعر الأمريكى اللاتينى المعاصر	١٠٧-
محمود على مكى	مجموعة من المؤلفين	ثلاث دراسات عن الشعر الأندلسى	١٠٨-
هاشم أحمد محمد	جون بولوك وعادل درويش	حروب المياه	١٠٩-
منى قطان	حسنة بيجوم	النساء فى العالم النامى	١١٠-
ريهام حسين إبراهيم	فرانسيس هيدسون	المرأة والجريمة	١١١-
إكرام يوسف	أرلين علوى ماكليود	الاحتجاج الهادئ	١١٢-

- ١١٣- راية التمرد سادى پلانت أحمد حسان
- ١١٤- مسرحيتا حصاد كونجى وسكان المستنقع وول شوينكا نسيم مجلى
- ١١٥- غرفة تخص المرء وحده فرچينيا وولف سمىة رمضان
- ١١٦- امرأة مختلفة (درية شفيق) سينثيا نلسون نهاد أحمد سالم
- ١١٧- المرأة والجنوسة فى الإسلام ليلى أحمد منى إبراهيم وهالة كمال
- ١١٨- النهضة النسائية فى مصر بىث بارون ليس النقاش
- ١١٩- النساء والاسرة وقوانين الطلاق فى التاريخ الإسلامى أميرة الأزهرى سنبل بإشراف: روف عباس
- ١٢٠- الحركة النسائية والتطور فى الشرق الأوسط ليلى أبو لغد مجموعة من المترجمين
- ١٢١- الدليل الصغير فى كتابة المرأة العربية فاطمة موسى محمد الجندى وإيزابيل كمال
- ١٢٢- نظام العبودية القديم والنموذج المثالى للإنسان جوزيف فوجت منيرة كروان
- ١٢٣- الإمبراطورية العثمانية وعلاقاتها الدولية أنيئل ألكسندرو فنادولينا أنور محمد إبراهيم
- ١٢٤- الفجر الكائب. أوهام الرأسمالية العالمية چون جراى أحمد فؤاد بليع
- ١٢٥- التحليل الموسيقى سيدرك ثورپ ديقى سمحة الخولى
- ١٢٦- فعل القراءة قولفانج إيسر عبد الوهاب علوب
- ١٢٧- إرهاب (مسرحية) صفاء فتحي بشير السباعى
- ١٢٨- الأدب المقارن سوزان باسنيت أميرة حسن نويرة
- ١٢٩- الرواية الإسبانية المعاصرة ماريا دولورس أسيس جاروته محمد أبو العطا وآخرون
- ١٣٠- الشرق يصعد ثانية أندريه جوندر فرانك شوقى جلال
- ١٣١- مصر القديمة: التاريخ الاجتماعى مجموعة من المؤلفين لويس بقطر
- ١٣٢- ثقافة العولمة مايك فيذرستون عبد الوهاب علوب
- ١٣٣- الخوف من المرايا (رواية) طارق على طلعت الشايب
- ١٣٤- تشريح حضارة بارى ج. كيمب أحمد محمود
- ١٣٥- المختار من نقد ت. س. إليوت ت. س. إليوت ماهر شفيق فريد
- ١٣٦- فلاحو الباشا كينيث كونو سحر توفيق
- ١٣٧- مذكرات ضابط فى الحملة الفرنسية على مصر جوزيف مارى مواريه كاميليا صبحى
- ١٣٨- عالم التليفزيون بين الجمال والعنف أندريه جلوكسمان وجيه سمعان عبد المسيح
- ١٣٩- باريسقال (مسرحية) ريتشارد فاچنر مصطفى ماهر
- ١٤٠- حيث تلتقى الأنهار هريوت ميسن أمل الجبورى
- ١٤١- اثنتا عشرة مسرحية يونانية مجموعة من المؤلفين نعيم عطية
- ١٤٢- الإسكندرية : تاريخ ودليل أ. م. فورستر حسن بيومى
- ١٤٣- قضايا التنظير فى البحث الاجتماعى ديرك لايدر عدلى السمرى
- ١٤٤- صاحبة اللوكاندة (مسرحية) كارلو جولدونى سلامة محمد سليمان
- ١٤٥- موت أرتيميو كروث (رواية) كارلوس فوينتس أحمد حسان
- ١٤٦- الورقة الحمراء (رواية) ميجيل دى ليبس على عبدالرؤف البمبى
- ١٤٧- مسرحيتان تانكريد نورست عبدالغفار مكوى
- ١٤٨- القصة القصيرة: النظرية والتقنية إنريكى أندرسون إمبرت على إبراهيم منوفى
- ١٤٩- النظرية الشعرية عند إليوت وأونيس عاطف فضول أسامة إسبر
- ١٥٠- التجربة الإغريقية روبرت ج. ليمان منيرة كروان

١٥١-	هوية فرنسا (مج ٢ ، ج١)	فرنان برودل	بشير السباعي
١٥٢-	عدالة الهنود وقصص أخرى	مجموعة من المؤلفين	محمد محمد الخطابي
١٥٣-	غرام الفراعنة	فيولين فانويك	فاطمة عبدالله محمود
١٥٤-	مدرسة فرانكفورت	فيل سليتر	خليل كلفت
١٥٥-	الشعر الأمريكي المعاصر	نخبة من الشعراء	أحمد مرسى
١٥٦-	المدارس الجمالية الكبرى	جى آنبال وآلان وأوديت فيرمو	مى التلمساني
١٥٧-	خسرو وشيرين	النظامى الكنجوى	عبدالعزیز بقوش
١٥٨-	هوية فرنسا (مج ٢ ، ج٢)	فرنان برودل	بشير السباعي
١٥٩-	الأيدولوجية	ديفيد هوكس	إبراهيم فتحي
١٦٠-	آلة الطبيعة	بول إيرليش	حسين بيومى
١٦١-	مسرحيتان من المسرح الإسباني	أليخاندرو كاسونا وأنطونيو جالا	زيدان عبدالحليم زيدان
١٦٢-	تاريخ الكنيسة	يوحنا الأسوي	صلاح عبدالعزیز محجوب
١٦٣-	موسوعة علم الاجتماع (ج ١)	جوردون مارشال	بإشراف: محمد الجوهري
١٦٤-	شامبوليون (حياة من نور)	جان لاکوتير	نبيل سعد
١٦٥-	حكايات الثعلب (قصص أطفال)	أ. ن. أفاناسيفا	سهير المصادفة
١٦٦-	العلاقات بين المتنبيين والعلمانيين في إسرائيل	يشعياهو ليفمان	محمد محمود أبوغدير
١٦٧-	في عالم طاغور	رابندرناث طاغور	شكري محمد عياد
١٦٨-	دراسات في الأدب والثقافة	مجموعة من المؤلفين	شكري محمد عياد
١٦٩-	إبداعات أدبية	مجموعة من المؤلفين	شكري محمد عياد
١٧٠-	الطريق (رواية)	ميجيل دليبيس	بسام ياسين رشيد
١٧١-	وضع حد (رواية)	فرانك بيجو	هدى حسين
١٧٢-	حجر الشمس (شعر)	نخبة	محمد محمد الخطابي
١٧٣-	معنى الجمال	ولتر ت. ستيس	إمام عبد الفتاح إمام
١٧٤-	صناعة الثقافة السوداء	إيليس كاشمور	أحمد محمود
١٧٥-	التلفزيون في الحياة اليومية	لورينزو فيلشس	وجيه سمعان عبد المسيح
١٧٦-	نحو مفهوم للاقتصاديات البيئية	توم تيتنبرج	جلال البنا
١٧٧-	أنطون تشيخوف	هنرى تروايا	حصه إبراهيم المنيف
١٧٨-	مختارات من الشعر اليوناني الحديث	نخبة من الشعراء	محمد حمدي إبراهيم
١٧٩-	حكايات أيسوب (قصص أطفال)	أيسوب	إمام عبد الفتاح إمام
١٨٠-	قصة جاويد (رواية)	إسماعيل فصيح	سليم عبد الأمير حمدان
١٨١-	النقد الأدبي الأمريكي من الثلاثينيات إلى الثمانينيات	فنسنت ب. ليتش	محمد يحيى
١٨٢-	العرف والنبوة (شعر)	و.ب. بيتس	ياسين طه حافظ
١٨٣-	جان كوكتو على شاشة السينما	رينيه جيلسون	فتحي العشري
١٨٤-	القاهرة: حالة لا تنام	هانز إبنورفر	دسوقي سعيد
١٨٥-	أسفار العهد القديم في التاريخ	توماس تومسن	عبد الوهاب علوب
١٨٦-	معجم مصطلحات هيجل	ميخائيل إنود	إمام عبد الفتاح إمام
١٨٧-	الأرض (رواية)	بُزرج علوى	محمد علاء الدين منصور
١٨٨-	موت الأدب	ألفين كرنان	بدر الديب

- ١٨٩- العصى والبصرة مقالات فى بلاغة النقد المعاصر پول دى مان
١٩٠- محاورات كونفوشيوس كونفوشيوس
١٩١- الكلام رأسمال وقصص أخرى الحاج أبو بكر إمام وآخرون
١٩٢- سياحت نامه إبراهيم بك (ج١) زين العابدين الراعى
١٩٣- عامل المنجم (رواية) بيتر أبراهامز
١٩٤- مختارات من النقد الأنجلو-أمريكي الحديث مجموعة من النقاد
١٩٥- شتاء ٨٤ (رواية) إسماعيل فصيح
١٩٦- المهلة الأخيرة (رواية) فالنتين راسبوتين
١٩٧- سيرة الفاروق شمس العلماء شبلى النعمانى
١٩٨- الاتصال الجماهيرى إدوين إمري وآخرون
١٩٩- تاريخ يهود مصر فى الفترة العثمانية يعقوب لاندائو
٢٠٠- ضحايا التنمية المقاومة والبدائل جيرمى سيبروك
٢٠١- الجانب الدينى للفلسفة جوزايا رويس
٢٠٢- تاريخ النقد الأدبى الحديث (ج٤) رينيه ويليك
٢٠٣- الشعر والشاعرية أطفاف حسين حالى
٢٠٤- تاريخ نقد العهد القديم زلمان شاراز
٢٠٥- الجينات والشعوب واللغات لويجى لوقا كافاللى- سفورزا
٢٠٦- الهولوية تصنع علماً جديداً جيمس جلايك
٢٠٧- ليل أفريقى (رواية) رامون خوتاسنديز
٢٠٨- شخصية العربى فى المسرح الإسرائيلى دان أوريان
٢٠٩- السرد والمسرح مجموعة من المؤلفين
٢١٠- مثنويات حكيم سنائى (شعر) سنائى الغزنوى
٢١١- فردينان دوسوسير جوناثان كلر
٢١٢- قصص الأمير مرزيان على لسان الحيوان مرزيان بن رستم بن شروين
٢١٣- مصر منذ قدوم نابليون حتى رحيل عبدالناصر ريمون فلاور
٢١٤- قواعد جديدة للمنهج فى علم الاجتماع أنتونى جيندنز
٢١٥- سياحت نامه إبراهيم بك (ج٢) زين العابدين الراعى
٢١٦- جوانب أخرى من حياتهم مجموعة من المؤلفين
٢١٧- مسرحيتان طليعيتان صمويل بيكيت وهارولد بينتر
٢١٨- لعبة الحجلة (رواية) خوليو كورتاثان
٢١٩- بقايا اليوم (رواية) كازو إيشجورو
٢٢٠- الهولوية فى الكون بارى باركر
٢٢١- شعرية كفافى جريجورى جوزدانيس
٢٢٢- فرانز كافكا رونالد جراى
٢٢٣- العلم فى مجتمع حر باول فيرابند
٢٢٤- دمار يوغسلافيا برانكا ماجاس
٢٢٥- حكاية غريق (رواية) جابرييل جارشيا ماركيث
٢٢٦- أرض المساء وقصائد أخرى ديفيد هربت لورانس
- سعيد الغانمى
محسن سيد فرجاني
مصطفى حجازى السيد
محمود علاوى
محمد عبد الواحد محمد
ماهر شفيق فريد
محمد علاء الدين منصور
أشرف الصباغ
جلال السعيد الحفناوى
إبراهيم سلامة إبراهيم
جمال أحمد الرفاعى وأحمد عبد اللطيف حماد
فخرى لبيب
أحمد الأنصارى
مجاهد عبد المنعم مجاهد
جلال السعيد الحفناوى
أحمد هويدى
أحمد مستجير
على يوسف على
محمد أبو العطا
محمد أحمد صالح
أشرف الصباغ
يوسف عبد الفتاح فرج
محمود حمدى عبد الغنى
يوسف عبدالفتاح فرج
سيد أحمد على الناصرى
محمد محبى الدين
محمود علاوى
أشرف الصباغ
نادية البنهاوى
على إبراهيم منوفى
طلعت الشايب
على يوسف على
رفعت سلام
نسيم مجلى
السيد محمد نفادى
منى عبدالظاهر إبراهيم
السيد عبدالظاهر السيد
طاهر محمد على البربرى

السيد عبدالظاهر عبدالله	خوسيه ماريا ديث بوركي	المسرح الإسباني في القرن السابع عشر	٢٢٧-
ماري تيريز عبدالمسيح وخالد حسن	جانيت وولف	علم الجمالية وعلم اجتماع الفن	٢٢٨-
أمير إبراهيم العمري	نورمان كيغان	مازق البطل الوحيد	٢٢٩-
مصطفى إبراهيم فهمي	فرانسواز جاكوب	عن الذباب والفئران والبشر	٢٣٠-
جمال عبدالرحمن	خايمي سالوم بيدال	الرافيل أو الجيل الجديد (مسرحية)	٢٣١-
مصطفى إبراهيم فهمي	توم ستونير	ما بعد المعلومات	٢٣٢-
طلعت الشايب	آرثر هيرمان	فكرة الاضمحلال في التاريخ الغربي	٢٣٣-
فؤاد محمد عكود	ج. سبنسر تريمينجهام	الإسلام في السودان	٢٣٤-
إبراهيم الدسوقي شتا	مولانا جلال الدين الرومي	ديوان شمس تبريزي (ج١)	٢٣٥-
أحمد الطيب	ميشيل شودكيفيتش	الولاية	٢٣٦-
عنايات حسين طلعت	روين فيدين	مصر أرض الوادي	٢٣٧-
ياسر محمد جادالله وعربي مدبولي أحمد	تقرير لمنظمة الانكتاد	العولة والتحرير	٢٣٨-
نادية سليمان حافظ وإيهاب صلاح فايق	جيلا راماز - رايوخ	العربي في الأدب الإسرائيلي	٢٣٩-
صلاح محجوب إدريس	كاي حافظ	الإسلام والغرب وإمكانية الحوار	٢٤٠-
ابتهسام عبدالله	ج. م. كوتزي	في انتظار البرابرة (رواية)	٢٤١-
صبري محمد حسن	وليام إمبسون	سبعة أنماط من الغموض	٢٤٢-
بإشراف: صلاح فضل	ليفى بروفنسال	تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج١)	٢٤٣-
نادية جمال الدين محمد	لاورا إسكيبييل	الغليان (رواية)	٢٤٤-
توفيق علي منصور	إليزابيتا أديس وآخرون	نساء مقاتلات	٢٤٥-
علي إبراهيم منوفي	جايريل جارثيا ماركيت	مختارات قصصية	٢٤٦-
محمد طارق الشرقاوي	والتر أرمبرست	الثقافة الجماهيرية والحدثة في مصر	٢٤٧-
عبداللطيف عبدالحليم	أنطونيو جالا	حقول عدن الخضراء (مسرحية)	٢٤٨-
رفعت سلام	دراجو شتامبوك	لغة التمزق (شعر)	٢٤٩-
ماجدة محسن أباطة	بومنيك فينك	علم اجتماع العلوم	٢٥٠-
بإشراف: محمد الجوهري	جورنون مارشال	موسوعة علم الاجتماع (ج٢)	٢٥١-
علي بدران	مارجو بدران	رائدات الحركة النسوية المصرية	٢٥٢-
حسن بيومي	ل. أ. سيمينوفا	تاريخ مصر الفاطمية	٢٥٣-
إمام عبد الفتاح إمام	ديف روبنسون وجودي جروفز	أقدم لك: الفلسفة	٢٥٤-
إمام عبد الفتاح إمام	ديف روبنسون وجودي جروفز	أقدم لك: أفلاطون	٢٥٥-
إمام عبد الفتاح إمام	ديف روبنسون وكريس جارات	أقدم لك: ديكارت	٢٥٦-
محمود سيد أحمد	وليم كلي رايت	تاريخ الفلسفة الحديثة	٢٥٧-
عبادة كُحيلة	سير أنجوس فريزر	الفجر	٢٥٨-
فاروجان كازانجيان	نخبة	مختارات من الشعر الأرمني عبر العصور	٢٥٩-
بإشراف: محمد الجوهري	جورنون مارشال	موسوعة علم الاجتماع (ج٢)	٢٦٠-
إمام عبد الفتاح إمام	زكي نجيب محمود	رحلة في فكر زكي نجيب محمود	٢٦١-
محمد أبو العطا	إدواردو مندوتا	مدينة المعجزات (رواية)	٢٦٢-
علي يوسف علي	جون جرين	الكشف عن حافة الزمن	٢٦٣-
لويس عوض	هوراس وشلي	إبداعات شعرية مترجمة	٢٦٤-

روايات مترجمة	أوسكار وايلد وصمويل جونسون	لويس عوض	٢٦٥-
مدير المدرسة (رواية)	جلال آل أحمد	عادل عبدالمنعم على	٢٦٦-
فن الرواية	ميلان كونديرا	بدر الدين عروكي	٢٦٧-
ديوان شمس تبريزي (ج٢)	مولانا جلال الدين الرومي	إبراهيم الدسوقي شتا	٢٦٨-
وسط الجزيرة العربية وشرقها (ج١)	وليم جيفور بالجريف	صبري محمد حسن	٢٦٩-
وسط الجزيرة العربية وشرقها (ج٢)	وليم جيفور بالجريف	صبري محمد حسن	٢٧٠-
الحضارة الغربية: الفكرة والتاريخ	توماس سى. باترسون	شوقي جلال	٢٧١-
الأديرة الأثرية في مصر	سى. سى. والترز	إبراهيم سلامة إبراهيم	٢٧٢-
الأمول الاجتماعية والثقافية لمركة عرابي في مصر	جوان كول	عنان الشهاوى	٢٧٣-
السيدة باربارا (رواية)	رومولو جاييجوس	محمود على مكى	٢٧٤-
ت. س. إليوت شاعراً وناقداً وكاتباً مسرحياً	مجموعة من النقاد	ماهر شفيق فريد	٢٧٥-
فنون السينما	مجموعة من المؤلفين	عبدالقادر التمساني	٢٧٦-
الجيئات والصراع من أجل الحياة	براين فورد	أحمد فوزي	٢٧٧-
البدايات	إسحاق عظيموف	ظريف عبدالله	٢٧٨-
الحرب الباردة الثقافية	ف.س. سوندرز	طلعت الشايب	٢٧٩-
الأم والنصيب وقصص أخرى	بريم شند وآخرون	سمير عبدالحميد إبراهيم	٢٨٠-
الفريوس الأعلى (رواية)	عبد الحليم شرر	جلال الحفناوى	٢٨١-
طبيعة العلم غير الطبيعية	لويس وولبرت	سمير حنا صادق	٢٨٢-
السهل يحترق وقصص أخرى	خوان رولفو	على عبد الرعوف البمبى	٢٨٣-
هرقل مجنوناً (مسرحية)	يوريبيديس	أحمد عثمان	٢٨٤-
رحلة خواجه حسن نظامى الدهلوى	حسن نظامى الدهلوى	سمير عبد الحميد إبراهيم	٢٨٥-
سياحت نامه إبراهيم بك (ج٢)	زين العابدين المراغى	محمود علاوى	٢٨٦-
الثقافة والعولة والنظام العالمى	أنتونى كنج	محمد يحيى وآخرون	٢٨٧-
الفن الروائى	ديفيد لودج	ماهر البطوطى	٢٨٨-
ديوان منوچهرى الدامغانى	أبو نجم أحمد بن قوص	محمد نور الدين عبدالمنعم	٢٨٩-
علم اللغة والترجمة	جورج موان	أحمد زكريا إبراهيم	٢٩٠-
تاريخ المسرح الإيبانى فى القرن العشرين (ج١)	فرانشيسكو رويس رامون	السيد عبد الظاهر	٢٩١-
تاريخ المسرح الإيبانى فى القرن العشرين (ج٢)	فرانشيسكو رويس رامون	السيد عبد الظاهر	٢٩٢-
مقدمة للأدب العربى	روجر آلن	مجدى توفيق وآخرون	٢٩٣-
فن الشعر	بوالو	رجاء ياقوت	٢٩٤-
سلطان الأسطورة	جوزيف كامبل وبيل موريز	بدر الديب	٢٩٥-
مكبث (مسرحية)	وليم شكسبير	محمد مصطفى بدوى	٢٩٦-
فن النحو بين اليونانية والسريانية	ديونيسيوس ثراكس ويوسف الأهوازى	ماجدة محمد أنور	٢٩٧-
مأساة العبيد وقصص أخرى	نخبة	مصطفى حجازى السيد	٢٩٨-
ثورة فى التكنولوجيا الحيوية	جين ماركس	هاشم أحمد محمد	٢٩٩-
أسطورة برومتهوس فى الأدب الإنجليزى والفرنسى (مج١)	لويس عوض	جمال الجزيرى وبهاء جاهين وإيزابيل كمال	٣٠٠-
أسطورة برومتهوس فى الأدب الإنجليزى والفرنسى (مج٢)	لويس عوض	جمال الجزيرى و محمد الجندى	٣٠١-
أقدم لك: فنجنشتين	جون هيتون وجودى جروفز	إمام عبد الفتاح إمام	٣٠٢-

٢٠٣-	أقدم لك: بوذا	جين هوب وبورن فان لون	إمام عبد الفتاح إمام
٢٠٤-	أقدم لك: ماركس	ريوس	إمام عبد الفتاح إمام
٢٠٥-	الجلد (رواية)	كروزيو مالابارته	صلاح عبد الصبور
٢٠٦-	الحماسة: النقد الكانطى للتاريخ	جان فرانسوا ليوتار	نبيل سعد
٢٠٧-	أقدم لك: الشعور	ديفيد بابينو وهوارد سلينا	محمود مكي
٢٠٨-	أقدم لك: علم الوراثة	ستيف جونز وبورين فان لو	ممدوح عبد المنعم
٢٠٩-	أقدم لك: الذهن والمخ	أنجوس جيلاتي وأوسكار زاريت	جمال الجزيري
٢١٠-	أقدم لك: يونج	ماجى هايد ومايكل ماكجنس	محيى الدين مزيد
٢١١-	مقال فى المنهج الفلسفى	راج كولنجود	فاطمة إسماعيل
٢١٢-	روح الشعب الأسود	وليم ديوييس	أسعد حليم
٢١٣-	أمثال فلسطينية (شعر)	خاير بيان	محمد عبدالله الجعيدى
٢١٤-	مارسيل دوشامب: الفن كعدم	جانيس مينيك	هويدا السباعى
٢١٥-	جرامشى فى العالم العربى	ميشيل بروندينو والطاهر لبيب	كاميليا صبحى
٢١٦-	محاكمة سقراط	أى. ف. ستون	نسيم مجلى
٢١٧-	بلا غد	س. شير لايموفا- س. زنيكين	أشرف الصباغ
٢١٨-	الادب الروسى فى السنوات العشر الأخيرة	مجموعة من المؤلفين	أشرف الصباغ
٢١٩-	صور دريدا	جايترى اسبيفاك وكريستوفر نوريس	حسام نايل
٢٢٠-	لمعة السراج لحضرة التاج	مؤلف مجهول	محمد علاء الدين منصور
٢٢١-	تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج ٢، ج ١)	ليفى برو فنسال	ياشرف: صلاح فضل
٢٢٢-	وجهات نظر حديثة فى تاريخ الفن الغربى	ديليو يوجين كلينبور	خالد مفلح حمزة
٢٢٣-	فن الساتورا	تراث يونانى قديم	هانم محمد فوزى
٢٢٤-	اللعب بالنار (رواية)	أشرف أسدى	محمود علاوى
٢٢٥-	عالم الآثار (رواية)	فيليب بوسان	كريستين يوسف
٢٢٦-	المعرفة والمصلحة	يورجين هابرماس	حسن صقر
٢٢٧-	مختارات شعرية مترجمة (ج ١)	نخبة	توفيق على منصور
٢٢٨-	يوسف وزليخا (شعر)	نور الدين عبد الرحمن الجامى	عبد العزيز بقوش
٢٢٩-	رسائل عيد الميلاد (شعر)	تد هيوز	محمد عيد إبراهيم
٢٣٠-	كل شىء عن التمثيل الصامت	مارفن شبرد	سامى صلاح
٢٣١-	عندما جاء السردين وقصص أخرى	ستيفن جراى	سامية دياب
٢٣٢-	شهر العسل وقصص أخرى	نخبة	على إبراهيم منوفى
٢٣٣-	الإسلام فى بريطانيا من ١٥٥٨-١٦٨٥	نبيل مطر	بكر عباس
٢٣٤-	لقطات من المستقبل	آرثر كلارك	مصطفى إبراهيم فهمى
٢٣٥-	عصر الشك: دراسات عن الرواية	ناتالى ساروت	فتحي العشرى
٢٣٦-	متون الأهرام	نصوص مصرية قديمة	حسن صابر
٢٣٧-	فلسفة الولاء	جوزايا رويس	أحمد الأنصارى
٢٣٨-	نظرات حائرة وقصص أخرى	نخبة	جلال الحفناوى
٢٣٩-	تاريخ الأدب فى إيران (ج ٢)	إيوارد براون	محمد علاء الدين منصور
٢٤٠-	اضطراب فى الشرق الأوسط	بيرش بيربروجلو	فخرى لبيب

٢٤١-	قصائد من رلكه (شعر)	راينر ماريا رلكه	حسن حلمي
٢٤٢-	سلامان وأبسال (شعر)	نور الدين عبدالرحمن الجامي	عبد العزيز بقوش
٢٤٣-	العالم البرجوازي الزائل (رواية)	نادين جورديمر	سمير عبد ربه
٢٤٤-	الموت في الشمس (رواية)	بيتر بالانجيو	سمير عبد ربه
٢٤٥-	الركض خلف الزمان (شعر)	بونه ندائي	يوسف عبد الفتاح فرج
٢٤٦-	سحر مصر	رشاد رشدي	جمال الجزيري
٢٤٧-	الصبيبة الطاشون (رواية)	جان كوكتو	بكر الحلو
٢٤٨-	التصوفة الأولون في الأدب التركي (ج١)	محمد فؤاد كوبريلي	عبدالله أحمد إبراهيم
٢٤٩-	دليل القارئ إلى الثقافة الجادة	آرثر والدهورن وآخرون	أحمد عمر شاهين
٢٥٠-	بانوراما الحياة السياحية	مجموعة من المؤلفين	عطية شحاتة
٢٥١-	مبادئ المنطق	جوزايا رويس	أحمد الانصاري
٢٥٢-	قصائد من كفافيس	قسطنطين كفافيس	نعيم عطية
٢٥٣-	الفن الإسلامي في الأندلس: الزخرفة الهندسية	باسيليو بابون مالدونانو	على إبراهيم منوفى
٢٥٤-	الفن الإسلامي في الأندلس: الزخرفة النباتية	باسيليو بابون مالدونانو	على إبراهيم منوفى
٢٥٥-	التيارات السياسية في إيران المعاصرة	حجت مرتجى	محمود علاوى
٢٥٦-	الميراث المر	بول سالم	بدر الرفاعى
٢٥٧-	متون هرمس	تيموثى فريك وبيتر غاندى	عمر الفاروق عمر
٢٥٨-	أمثال الهوسا العامية	نخبة	مصطفى حجازى السيد
٢٥٩-	محاورة بارمنيدس	أفلاطون	حبيب الشارونى
٢٦٠-	أنثروبولوجيا اللغة	أندريه جاكوب ونويلا باركان	ليلي الشريبنى
٢٦١-	التصحّر: التهديد والمجابهة	آلان جرينجر	عاطف معتمد وأمال شاور
٢٦٢-	تلميذ بابنبرج (رواية)	هاينرش شبورل	سيد أحمد فتح الله
٢٦٣-	حركات التحرير الأفريقية	ريتشارد جيبسون	صبرى محمد حسن
٢٦٤-	حادثة شكسبير	إسماعيل سراج الدين	نجلاء أبو عجاج
٢٦٥-	سأم باريس (شعر)	شارل بودلير	محمد أحمد حمد
٢٦٦-	نساء يركضن مع الذئاب	كلاريسا بنكولا	مصطفى محمود محمد
٢٦٧-	القلم الجرىء	مجموعة من المؤلفين	البراق عبدالهادى رضا
٢٦٨-	المصطلح السردى: معجم مصطلحات	جيرالد برنس	عابد خزندار
٢٦٩-	المرأة في أدب نجيب محفوظ	فوزية العشماوى	فوزية العشماوى
٢٧٠-	الفن والحياة في مصر الفرعونية	كليلا لويت	فاطمة عبدالله محمود
٢٧١-	التصوفة الأولون في الأدب التركي (ج٢)	محمد فؤاد كوبريلي	عبدالله أحمد إبراهيم
٢٧٢-	عاش الشباب (رواية)	وانغ مينغ	وحيد السعيد عبدالحميد
٢٧٣-	كيف تعد رسالة دكتوراه	أومبرتو إيكو	على إبراهيم منوفى
٢٧٤-	اليوم السادس (رواية)	أندريه شديد	حمادة إبراهيم
٢٧٥-	الخلود (رواية)	ميلان كونديرا	خالد أبو اليزيد
٢٧٦-	الغضب وأحلام السنين (مسرحيات)	جان أنوى وآخرون	إدوار الخراط
٢٧٧-	تاريخ الأدب في إيران (ج٤)	إنوارد براون	محمد علاء الدين منصور
٢٧٨-	المسافر (شعر)	محمد إقبال	يوسف عبدالفتاح فرج

جمال عبدالرحمن	سنيل باث	٢٧٩- ملك فى الحديقة (رواية)
شيرين عبدالسلام	جونتر جراس	٢٨٠- حديث عن الخسارة
رانيا إبراهيم يوسف	ر. ل. تراسك	٢٨١- أساسيات اللغة
أحمد محمد نادى	بهاء الدين محمد إسفنديار	٢٨٢- تاريخ طبرستان
سمير عبدالحميد إبراهيم	محمد إقبال	٢٨٣- هدية الحجاز (شعر)
إيزابيل كمال	سوزان إنجيل	٢٨٤- القصص التي يحكيها الأطفال
يوسف عبدالفتاح فرج	محمد على بهزادراد	٢٨٥- مشترى العشق (رواية)
ريهام حسين إبراهيم	جانيت تود	٢٨٦- دفاعاً عن التاريخ الأدبي النسوى
بهاء چاهين	چون دن	٢٨٧- أغنيات وسوناتات (شعر)
محمد علاء الدين منصور	سعدى الشيرازى	٢٨٨- مواعظ سعدى الشيرازى (شعر)
سمير عبدالحميد إبراهيم	نخبة	٢٨٩- تفاهم وقصص أخرى
عثمان مصطفى عثمان	إم. فى. روبرتس	٢٩٠- الأرشيقات والمدن الكبرى
منى الدروبي	مايف بينشى	٢٩١- الحافلة الليلية (رواية)
عبداللطيف عبدالحميد	فرناندو دى لاجرانجا	٢٩٢- مقامات ورسائل أندلسية
زينب محمود الخضيرى	ندوة لويس ماسينيون	٢٩٣- فى قلب الشرق
هاشم أحمد محمد	بول ديفيز	٢٩٤- القوى الأربع الأساسية فى الكون
سليم عبد الأمير حمدان	إسماعيل فصيح	٢٩٥- آلام سياوش (رواية)
محمود علاوى	تقى نجارى راد	٢٩٦- السافاك
إمام عبدالفتاح إمام	لورانس جين وكيلى شين	٢٩٧- أقدم لك: نيتشه
إمام عبدالفتاح إمام	فيليب تودى وهوارد ريد	٢٩٨- أقدم لك: سارتر
إمام عبدالفتاح إمام	ديفيد ميروفتش وآلن كوركس	٢٩٩- أقدم لك: كامى
باهر الجوهري	ميشائيل إنده	٤٠٠- مومو (رواية)
ممدوح عبد المنعم	زياودن ساردر وآخرون	٤٠١- أقدم لك: علم الرياضيات
ممدوح عبدالمنعم	ج. ب. ماك إيفوى وأوسكار زاريت	٤٠٢- أقدم لك: ستيفن هوكينج
عماد حسن بكر	تودور شتورم وجوتفرد كولر	٤٠٣- ربة المطر والملابس تصنع الناس (روايتان)
ظبية خميس	ديفيد إبرام	٤٠٤- تعويذة الحسى
حمادة إبراهيم	أندريه جيد	٤٠٥- إيزابيل (رواية)
جمال عبد الرحمن	مانويلا مانتاناريس	٤٠٦- المستعربون الإسبان فى القرن ١٩
طلعت شاهين	مجموعة من المؤلفين	٤٠٧- الأدب الإسباني المعاصر بأقلام كتابه
عنان الشهاوى	جوان فوتشركنج	٤٠٨- معجم تاريخ مصر
إلهامى عمارة	برتراند راسل	٤٠٩- انتصار السعادة
الزواوى بغورة	كارل بوبر	٤١٠- خلاصة القرن
أحمد مستجير	جينيفر أكرمان	٤١١- همس من الماضى
بإشراف: صلاح فضل	ليفى بروفنسال	٤١٢- تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج ٢، ج ٢)
محمد البخارى	ناظم حكمت	٤١٣- أغنيات المنفى (شعر)
أمل الصبان	باسكال كازانوف	٤١٤- الجمهورية العالمية للأدب
أحمد كامل عبدالرحيم	فريدريش نورينمات	٤١٥- صورة كوكب (مسرحية)
محمد مصطفى بدوى	أ. إ. رتشاردز	٤١٦- مبادئ النقد الأدبي والعلم والشعر

- ٤١٧- تاريخ النقد الأدبي الحديث (ج٥) رينيه ويليك مجاهد عبدالمنعم مجاهد
- ٤١٨- سياسات الزمر الحاكمة في مصر العثمانية جين هاثواي عبد الرحمن الشيخ
- ٤١٩- العصر الذهبي للإسكندرية جون مارلو نسيم مجلى
- ٤٢٠- مكرو ميجاس (قصة فلسفية) فولتير الطيب بن رجب
- ٤٢١- الولاء والقيادة في المجتمع الإسلامي الأول روى متحدة أشرف كيلانى
- ٤٢٢- رحلة لاستكشاف أفريقيا (ج١) ثلاثة من الرحالة عبدالله عبدالرازق إبراهيم
- ٤٢٣- إسرعات الرجل الطيف نخبة وحيد النقاش
- ٤٢٤- لوائح الحق ولوامع العشق (شعر) نور الدين عبدالرحمن الجامى محمد علاء الدين منصور
- ٤٢٥- من طاووس إلى فرح محمود طلوعى محمود علاوى
- ٤٢٦- الخفافيش وقصص أخرى نخبة محمد علاء الدين منصور وعبد الحفيظ يعقوب
- ٤٢٧- بانديراس الطاغية (رواية) باى إنكلان ثريا شلبى
- ٤٢٨- الخزانة الخفية محمد هوتك بن داود خان محمد أمان صافى
- ٤٢٩- أقدم لك هيجل ليود سبنسر وأندرجى كروز إمام عبدالفتاح إمام
- ٤٣٠- أقدم لك. كانط كرستوفر وانت وأندرجى كليموفسكى إمام عبدالفتاح إمام
- ٤٣١- أقدم لك: فوكو كريس هوروكس وزوران جفتيك إمام عبدالفتاح إمام
- ٤٣٢- أقدم لك: ماكياقللى باتريك كيرى وأوسكار زاريت إمام عبدالفتاح إمام
- ٤٣٣- أقدم لك. جويس ديفيد نوريس وكارل قلنت حمدي الجابري
- ٤٣٤- أقدم لك: الرومانسية دونكان هيث وجودى بورهام عصام حجازى
- ٤٣٥- توجهات ما بعد الحداثة نيكولاس زبرج ناجى رشوان
- ٤٣٦- تاريخ الفلسفة (مج١) فردريك كوبلستون إمام عبدالفتاح إمام
- ٤٣٧- رحلة هندي في بلاد الشرق العربى شبلى النعمانى جلال الحفناوى
- ٤٣٨- بطلات وضحايا إيمان ضياء الدين بيبرس عايدة سيف الدولة
- ٤٣٩- موت المرابى (رواية) صدر الدين عيسى محمد علاء الدين منصور وعبد الحفيظ يعقوب
- ٤٤٠- قواعد اللهجات العربية الحديثة كرستن بروسنار محمد طارق الشرقاوى
- ٤٤١- رب الأشياء الصغيرة (رواية) أرونداتى روى فخرى لبيب
- ٤٤٢- حثشبسوت: المرأة الفرعونية فوزية أسعد ماهر جويجاتى
- ٤٤٣- اللغة العربية: تاريخها ومستوياتها وتأثيرها كيس فرستينج محمد طارق الشرقاوى
- ٤٤٤- أمريكا اللاتينية: الثقافات القديمة لاوريت سيجورنه صالح علمانى
- ٤٤٥- حول وزن الشعر پرويز ناتل خانلرى محمد محمد يونس
- ٤٤٦- التحالف الأسود ألكسندر كوكيرن وجيفرى سانت كلير أحمد محمود
- ٤٤٧- أقدم لك: نظرية الكم ج. پ. ماك إيقوى وأوسكار زاريت ممدوح عبدالمنعم
- ٤٤٨- أقدم لك. علم نفس التطور ديلان إيفانز وأوسكار زاريت ممدوح عبدالمنعم
- ٤٤٩- أقدم لك: الحركة النسوية نخبة جمال الجزيرى
- ٤٥٠- أقدم لك: ما بعد الحركة النسوية صوفيا فوكا وريبيكا رايت جمال الجزيرى
- ٤٥١- أقدم لك: الفلسفة الشرقية ريتشارد أوزبورن وبورن فان لون إمام عبد الفتاح إمام
- ٤٥٢- أقدم لك: لينين والثورة الروسية ريتشارد إيجينانزى وأوسكار زاريت محيى الدين مزيد
- ٤٥٣- القاهرة إقامة مدينة حديثة جان لوك أرنو حليم طوسون وغوار الدهان
- ٤٥٤- خمسون عاماً من السينما الفرنسية رينيه بريدال سوزان خليل

٤٥٥-	تاريخ الفلسفة الحديثة (مج ٥)	فردريك كوبلستون	محمود سيد أحمد
٤٥٦-	لا تنسنى (رواية)	مريم جعفرى	هويدا عزت محمد
٤٥٧-	النساء فى الفكر السياسى الغربى	سوزان مولر أوكين	إمام عبدالفتاح إمام
٤٥٨-	الموريستكيون الأندلسيون	مرثيديس غارثيا أرينال	جمال عبد الرحمن
٤٥٩-	نحو مفهوم لاقتصاديات الموارد الطبيعية	توم تيتنبرج	جلال البنا
٤٦٠-	أقدم لك: الفاشية والنازية	ستوارت هود وليتزا جانستز	إمام عبدالفتاح إمام
٤٦١-	أقدم لك: لكأن	داريان ليدر وجودى جروفز	إمام عبدالفتاح إمام
٤٦٢-	طه حسين من الأزهر إلى السوربون	عبدالرشيد الصادق محمودى	عبدالرشيد الصادق محمودى
٤٦٣-	البولة المارقة	ويليام بلوم	كمال السيد
٤٦٤-	ديمقراطية للقلة	مايكل بارتنى	حصّة إبراهيم المنيف
٤٦٥-	قصص اليهود	لويس جنزيرج	جمال الرفاعى
٤٦٦-	حكايات حب وبطولات فرعونية	فيولين فانويك	فاطمة عبد الله
٤٦٧-	التفكير السياسى والنظرة السياسية	ستيفين ديلو	ربيع وهبة
٤٦٨-	روح الفلسفة الحديثة	جوزايا رويس	أحمد الأنصارى
٤٦٩-	جلال الملوك	نصوص حبشية قديمة	مجدى عبدالرازق
٤٧٠-	الأراضى والجودة البيئية	جارى م. بيرزنسكى وآخرون	محمد السيد الننة
٤٧١-	رحلة لاستكشاف أفريقيا (ج ٢)	ثلاثة من الرحالة	عبد الله عبد الرزاق إبراهيم
٤٧٢-	دون كيخوتى (القسم الأول)	ميجيل دى ثربانتس سابيدرا	سليمان العطار
٤٧٣-	دون كيخوتى (القسم الثانى)	ميجيل دى ثربانتس سابيدرا	سليمان العطار
٤٧٤-	الأدب والنسوية	بام موريس	سهام عبدالسلام
٤٧٥-	صوت مصر: أم كلثوم	فرجينيا دانييلسون	عادل هلال عنانى
٤٧٦-	أرض الحباب بعيدة: بيرم التونسي	ماريلين بوث	سحر توفيق
٤٧٧-	تاريخ الصين منذ ما قبل التاريخ حتى القرن العشرين	هيلدا هوخام	أشرف كيلانى
٤٧٨-	الصين والولايات المتحدة	ليوشيه شنج و لى شى دونج	عبد العزيز حمدي
٤٧٩-	المقهسى (مسرحية)	لاوشه	عبد العزيز حمدي
٤٨٠-	تساي ون جى (مسرحية)	كو مو روا	عبد العزيز حمدي
٤٨١-	بردة النبى	روى متحدة	رضوان السيد
٤٨٢-	موسوعة الأساطير والرموز الفرعونية	روبير جاك تيبو	فاطمة عبد الله
٤٨٣-	النسوية وما بعد النسوية	سارة چامبل	أحمد الشامى
٤٨٤-	جمالية التلقى	هانسن روبيرت ياوس	رشيد بنحو
٤٨٥-	التوبة (رواية)	نذير أحمد الدهلوى	سمير عبدالحميد إبراهيم
٤٨٦-	الذاكرة الحضارية	يان أسمن	عبدالحميد عبدالغنى رجب
٤٨٧-	الرحلة الهندية إلى الجزيرة العربية	رفيع الدين المراد أبادى	سمير عبدالحميد إبراهيم
٤٨٨-	الحب الذى كان وقصائد أخرى	نخبة	سمير عبدالحميد إبراهيم
٤٨٩-	هُسْرُل: الفلسفة علماً دقيقاً	إدموند هُسْرُل	محمود رجب
٤٩٠-	أسمار البيغاء	محمد قادرى	عبد الوهاب علوب
٤٩١-	نصوص قصصية من روائع الأدب الأفريقى	نخبة	سمير عبد ربه
٤٩٢-	محمد على مؤسس مصر الحديثة	جى فارجيت	محمد رفعت عواد

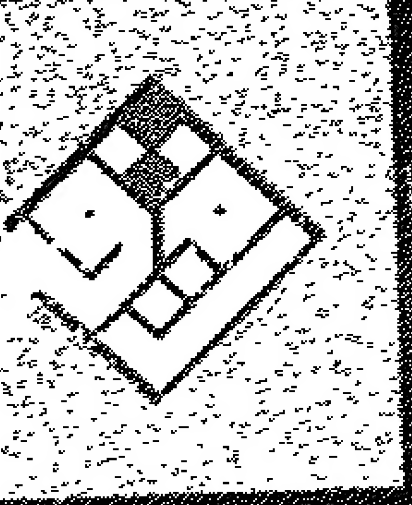
خطابات إلى طالب الصوتيات	هارولد بالمر	محمد صالح الضالع	٤٩٣-
كتاب الموتى: الخروج في النهار	نصوص مصرية قديمة	شريف الصيفي	٤٩٤-
اللوبي	إيوارد تيفان	حسن عبد ربه المصري	٤٩٥-
الحكم والسياسة في أفريقيا (ج١)	إكوانو بانولى	مجموعة من المترجمين	٤٩٦-
العلمانية والنوع والنولة في الشرق الأوسط	نادية العلى	مصطفى رياض	٤٩٧-
النساء والنوع في الشرق الأوسط الحديث	جوديث تاكر ومارجريت مريودز	أحمد على بدوى	٤٩٨-
تقاطعات: الأمة والمجتمع والنوع	مجموعة من المؤلفين	فيصل بن خضراء	٤٩٩-
في طفولتي: دراسة في السيرة الذاتية العربية	تيتز رووكي	طلعت الشايب	٥٠٠-
تاريخ النساء في الغرب (ج١)	آرثر جولد هامر	سحر فراج	٥٠١-
أصوات بديلة	مجموعة من المؤلفين	هالة كمال	٥٠٢-
مختارات من الشعر الفارسي الحديث	نخبة من الشعراء	محمد نور الدين عبدالمنعم	٥٠٣-
كتابات أساسية (ج١)	مارتن هايدجر	إسماعيل المصدق	٥٠٤-
كتابات أساسية (ج٢)	مارتن هايدجر	إسماعيل المصدق	٥٠٥-
ربما كان قديساً (رواية)	آن تيلر	عبدالحميد فهمي الجمال	٥٠٦-
سيدة الماضي الجميل (مسرحية)	بيتر شيفر	شوقي فهمي	٥٠٧-
المولوية بعد جلال الدين الرومي	عبدالباقي جلبنارلي	عبدالله أحمد إبراهيم	٥٠٨-
الفقر والإحسان في عصر سلاطين المماليك	أدم صبرة	قاسم عبده قاسم	٥٠٩-
الأرملة الماكرة (مسرحية)	كارلو جولدوني	عبدالرازق عيد	٥١٠-
كوكب مرقع (رواية)	آن تيلر	عبدالحميد فهمي الجمال	٥١١-
كتابة النقد السينمائي	تيموثي كوريغان	جمال عبد الناصر	٥١٢-
العلم الجسور	تيد أنتون	مصطفى إبراهيم فهمي	٥١٣-
مدخل إلى النظرية الأدبية	جونثان كولر	مصطفى بيومي عبد السلام	٥١٤-
من التقليد إلى ما بعد الحداثة	فدوى مالطي بوجلاس	فدوى مالطي بوجلاس	٥١٥-
إرادة الإنسان في علاج الإدمان	آرنولد واشنطن ودونا باوندي	صبرى محمد حسن	٥١٦-
نقش على الماء وقصص أخرى	نخبة	سمير عبد الحميد إبراهيم	٥١٧-
استكشاف الأرض والكون	إسحق عظيموف	هاشم أحمد محمد	٥١٨-
محاضرات في المثالية الحديثة	جوزايا رويس	أحمد الأنصاري	٥١٩-
الولع الفرنسي بمصر من الحلم إلى المشروع	أحمد يوسف	أمل الصبان	٥٢٠-
قاموس تراجم مصر الحديثة	آرثر جولد سميث	عبدالوهاب بكر	٥٢١-
إسبانيا في تاريخها	أميركو كاسترو	على إبراهيم منوفى	٥٢٢-
الفن الطليطلى الإسلامى والمدجن	باسيليو بابون مالدونادو	على إبراهيم منوفى	٥٢٣-
الملك لير (مسرحية)	وليم شكسبير	محمد مصطفى بدوى	٥٢٤-
موسم صيد في بيروت وقصص أخرى	دنيس جونسون	نادية رفعت	٥٢٥-
أقدم لك: السياسة البيئية	ستيفن كرويل ووليم رانكين	محيى الدين مزيد	٥٢٦-
أقدم لك: كافكا	ديفيد زين ميروفتس وروبرت كرمب	جمال الجزيري	٥٢٧-
أقدم لك: تروتسكى والماركسية	طارق على وفل إيفانز	جمال الجزيري	٥٢٨-
بدائع العلامة إقبال في شعره الأردى	محمد إقبال	حازم محفوظ وحسين نجيب المصري	٥٢٩-
مدخل عام إلى فهم النظريات التراثية	رينيه جينو	عمر الفاروق عمر	٥٣٠-

٥٣١-	ما الذي حَدَثَ في «حَدَث» ١١ سبتمبر؟	چاك دريدا	صفاء فتحي
٥٣٢-	المغامرُ والمستشرق	هنري لورنس	بشير السباعي
٥٣٣-	تعلُّم اللغة الثانية	سوزان جاس	محمد طارق الشرقاوي
٥٣٤-	الإسلاميون الجزائريون	سيثرين لوبا	حمادة إبراهيم
٥٣٥-	مخزن الأسرار (شعر)	نظامي الكنجوي	عبدالعزیز بقوش
٥٣٦-	الثقافات وقيم التقدم	صمويل منتجتون ولورانس هاريزون	شوقي جلال
٥٣٧-	للحب والحرية (شعر)	نخبة	عبدالفگار مكاوي
٥٣٨-	النفس والآخر في قصص يوسف الشاروني	كيت دانييلز	محمد الحديدي
٥٣٩-	خمس مسرحيات قصيرة	كاريل تشرشل	محسن مصيلحي
٥٤٠-	توجهات بريطانية - شرقية	السير رونالد ستورس	رؤف عباس
٥٤١-	هي تتخيل وهلاوس أخرى	خوان خوسيه مياس	مروة رزق
٥٤٢-	قصص مختارة من الأدب اليوناني الحديث	نخبة	نعيم عطية
٥٤٣-	أقدم لك: السياسة الأمريكية	باتريك بروجان وكريس جرات	وفاء عبدالقادر
٥٤٤-	أقدم لك: ميلاني كلاين	روبرت هنشل وآخرون	حمدي الجابري
٥٤٥-	يا له من سباق محموم	فرانسيس كريك	عزت عامر
٥٤٦-	ريموس	ت. ب. وايزمان	توفيق علي منصور
٥٤٧-	أقدم لك: بارت	فيليب تودي وأن كورس	جمال الجزيري
٥٤٨-	أقدم لك: علم الاجتماع	ريتشارد أوزبرن ويورن فان لون	حمدي الجابري
٥٤٩-	أقدم لك: علم العلامات	بول كويلي وليتاجانز	جمال الجزيري
٥٥٠-	أقدم لك: شكسبير	نيك جروم وبيرو	حمدي الجابري
٥٥١-	الموسيقى والعولة	سايمون ماندي	سمحة الخولي
٥٥٢-	قصص مثالية	ميجيل دي ثريانتس	علي عبد الرؤف البمبي
٥٥٣-	مدخل للشعر الفرنسي الحديث والمعاصر	دانيال لوفرس	رجاء ياقوت
٥٥٤-	مصر في عهد محمد علي	عفاف لطفى السيد مارسوه	عبدالسميع عمر زين الدين
٥٥٥-	الإستراتيجية الأمريكية للقرن الحادي والعشرين	أناتولي أوتكين	أنور محمد إبراهيم ومحمد نصرالدين الجبالي
٥٥٦-	أقدم لك: جان بويرار	كريس هوروكس وزوران جيفتك	حمدي الجابري
٥٥٧-	أقدم لك: الماركيز دي ساد	ستوارت هود وجراهام كرولي	إمام عبدالفتاح إمام
٥٥٨-	أقدم لك: الدراسات الثقافية	زيودين سارداروبورين فان لون	إمام عبدالفتاح إمام
٥٥٩-	الماس الزائف (رواية)	تشا تشاجي	عبدالحى أحمد سالم
٥٦٠-	صلصلة الجرس (شعر)	محمد إقبال	جلال السعيد الحفناوي
٥٦١-	جناح جبريل (شعر)	محمد إقبال	جلال السعيد الحفناوي
٥٦٢-	بلايين وبلايين	كارل ساجان	عزت عامر
٥٦٣-	ورود الخريف (مسرحية)	خايننتو بينابيتتى	صبرى محمدى التهامي
٥٦٤-	عُش الغريب (مسرحية)	خايننتو بينابيتتى	صبرى محمدى التهامي
٥٦٥-	الشرق الأوسط المعاصر	ديبورا ج. جيرنر	أحمد عبدالحميد أحمد
٥٦٦-	تاريخ أوروبا في العصور الوسطى	موريس بيشوب	علي السيد علي
٥٦٧-	الوطن المغتصب	مايكل رايس	إبراهيم سلامة إبراهيم
٥٦٨-	الأصول في الرواية	عبد السلام حيدر	عبد السلام حيدر

٥٦٩ - موقع الثقافة	هومي بابا	ثائر ديب
٥٧٠ - نول الخليج الفارسي	سير روبرت هاي	يوسف الشاروني
٥٧١ - تاريخ النقد الإسباني المعاصر	إيميليا دي ثوليتا	السيد عبد الظاهر
٥٧٢ - الطب في زمن الفراغة	برونو أليوا	كمال السيد
٥٧٣ - أقدم لك: فرويد	ريتشارد ابيجنانس وأسكار زارتي	جمال الجزيري
٥٧٤ - مصر القديمة في عيون الإيرانيين	حسن بيرنيا	علاء الدين السباعي
٥٧٥ - الاقتصاد السياسي للعولة	نجير وودز	أحمد محمود
٥٧٦ - فكر ثريانتس	أمريكو كاسترو	ناهد العشري محمد
٥٧٧ - مغامرات بينوكيو	كارلو كولودي	محمد قدرى عمارة
٥٧٨ - الجماليات عند كيتس وهنت	أيومي ميزوكوشي	محمد إبراهيم وعصام عبد الرحرف
٥٧٩ - أقدم لك: تشومسكي	جون ماهر وچودي جرونز	محيى الدين مزيد
٥٨٠ - دائرة المعارف الفولية (مج ١)	جون فيزر وبول سيترجز	باشراف: محمد فتحى عبدالهادى
٥٨١ - الحمقى يموتون (رواية)	ماريو بوزو	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٢ - مرايا على الذات (رواية)	هوشنك كلشيري	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٣ - الجيران (رواية)	أحمد محمود	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٤ - سفر (رواية)	محمود نولت آبادى	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٥ - الأمير احتجاب (رواية)	هوشنك كلشيري	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٦ - السينما العربية والأفريقية	ليزييث مالكموس وروى أرمنز	سهام عبد السلام
٥٨٧ - تاريخ تطور الفكر الصينى	مجموعة من المؤلفين	عبدالعزیز حمدى
٥٨٨ - أمخوتب الثالث	أنيس كابرول	ماهر جويجاتى
٥٨٩ - تمبكت العجبية (رواية)	فيلكس دييوا	عبدالله عبدالرازق إبراهيم
٥٩٠ - أساطير من الموروثات الشعبية الفنلندية	نخبة	محمود مهدى عبدالله
٥٩١ - الشاعر والمفكر	هوراتيوس	على عبدالنواب على وصلاح رمضان السيد
٥٩٢ - الثورة المصرية (ج ١)	محمد صبرى السوربونى	مجدى عبدالحافظ وعلى كورخان
٥٩٣ - قصائد ساحرة	بول فاليري	بكر الحلو
٥٩٤ - القلب السمين (قصة أطفال)	سوزانا تامارو	أمانى فوزى
٥٩٥ - الحكم والسياسة فى أفريقيا (ج ٢)	إكوانو بانولى	مجموعة من المترجمين
٥٩٦ - الصحة العقلية فى العالم	روبرت ديجارليه وآخرون	إيهاب عبدالرحيم محمد
٥٩٧ - مسلمو غرناطة	خوليو كاروياروخا	جمال عبدالرحمن
٥٩٨ - مصر وكنعان وإسرائيل	دونالد ريدفورد	بيومى على قنديل
٥٩٩ - فلسفة الشرق	هرداد مهريز	محمود علاوى
٦٠٠ - الإسلام فى التاريخ	برنارد لويس	مدحت طه
٦٠١ - النسوية والمواطنة	ريان ثوت	أيمن بكر وسمر الشيشكلي
٦٠٢ - ليوتار: نحو فلسفة ما بعد حداثة	جيمس وليامز	إيمان عبدالعزيز
٦٠٣ - النقد الثقافى	أرثر أيزابرجر	وفاء إبراهيم ورمضان بسطاويسى
٦٠٤ - الكوارث الطبيعية (مج ١)	باتريك ل. أبوت	توفيق على منصور

طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

رقم الإيداع ١٧٧٢٠ / ٢٠٠٣



NATURAL DISASTERS

THIRD EDITION

PATRICK L. ARBORET

أحدث ما صدر في العالم من كتب تتناول الكوارث الطبيعية وأشملها، فهو يتناول شرحا وافيا ومبسطا ومدعما بالصور والأشكال التوضيحية والجداول والبيانات الإحصائية للزلازل والتراكيب الجيولوجية والجليدية والمائية وتغير المناخ والأعاصير والفيضانات والحرائق والبراكين وغيرها من الكوارث الطبيعية والكثافة السكانية وغير ذلك.

ويتعمق الكتاب في شرح النظريات والتطبيقات بما يشبع نهم الباحثين والدارسين كما يسهل في السرد بما يفيد الطلاب والمثقفين المتطلعين إلى المعرفة. ويركز هذا الكتاب على كيفية إخراج الأرض طاقاتها وتسديد ضرباتها القاصمة للبشر وللإنشاءات ولجميع المخلوقات. يهتم الكتاب المتخصصين في الجغرافيا والجيولوجيا والبيئة، كما يهتم رواد الثقافة العامة وهواة قراءة القصص والحوادث والكوارث الطبيعية، ويندر وجود مثيل له في المكتبة العربية.